



HAL
open science

Photobiological safety and exposure of pedestrians to blue light emitted by car headlights

Nicolas Picard, Christophe Martinsons

► To cite this version:

Nicolas Picard, Christophe Martinsons. Photobiological safety and exposure of pedestrians to blue light emitted by car headlights. CSTB Technical Report DSC/2017-129/CM/GC, CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment, France. 2017. <hal-04700433>

HAL Id: hal-04700433

<https://hal.science/hal-04700433v1>

Submitted on 4 May 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Copyright - All rights reserved

Sécurité photobiologique et exposition des piétons à la lumière bleue émise par des feux automobiles

Rapport Final

Demandeur de l'étude
ANSES
14, rue Pierre et Marie Curie
94701 MAISONS ALFORT CEDEX
A l'attention de Dina ATTIA

Auteur	Approbation	Version	Vérification
Nicolas Picard	Christophe Martinsons	v 3 11 décembre 2017	Béatrice Gauthier
		Version finale	

N/Réf. DSC/2017-129/CM/GC/

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Sécurité photobiologique et exposition des piétons à la lumière bleue émise par des feux automobiles.....	1
1. OBJET	5
2. RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE	6
2.1. Résultats de la PARTIE 1 : GROUPES DE RISQUE NF EN 62471	6
2.1.1. Feux de croisement	6
2.1.2. Feux de route	7
2.1.3. Feux de jour (DRL)	8
2.2. Résultats de la PARTIE 2	9
2.2.1. Scénarios d'exposition	9
2.2.2. Analyse des résultats selon l'âge	10
2.2.3. Analyse des résultats selon la technologie.....	11
2.2.4. Analyse des résultats selon l'âge et la technologie	13
3. TEXTES DE RÉFÉRENCE	16
4. PROJECTEURS AUTOMOBILES TESTES	17
4.1. Projecteur de Citroën DS3.....	17
4.2. Projecteur de Peugeot 208	20
4.3. Projecteur de Peugeot 3008	21
4.4. Projecteur de Renault Espace	23
4.5. Feu DRL de Toyota Auris Hybride (Phase 2)	24
4.6. Feu DRL de Peugeot 508 SW (modèle 2015).....	25
4.7. Feu DRL de Peugeot 508 RXH	25
5. MATERIEL DE MESURE	26
6. PARTIE 1 : Evaluation du groupe de risque photobiologique selon la norme NF EN 62471	27
6.1. Méthode de mesure	27
6.1.1. Cas des projecteurs testés hors véhicule	27
6.1.2. Cas des projecteurs testés sur véhicules	28
6.2. Résultats de mesures pour le projecteur 1 : Citroën DS3	28
6.2.1. Module 1 en réglage feu de croisement	28
6.2.2. Module 1 en réglage route	30
6.2.3. Module 2 en réglage position.....	31
6.2.4. Module 2 en réglage route	33
6.2.5. Module DRL	35
6.3. Résultats de mesures pour le projecteur 2 : Peugeot 208	36
6.3.1. Module 1 (feu de route).....	36
6.3.2. Module 2 (feu de croisement)	38
6.3.3. Module 3 en mode position.....	39
6.3.4. Module 3 en mode DRL.....	42
6.4. Résultats de mesures pour le projecteur 3 : Peugeot 3008	43
6.4.1. Module 1 ('kink') en mode feu de croisement	43

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.4.2.	Module 1 ('kink') en mode feu de route.....	45
6.4.3.	Module 2 ('flat') en mode feu de croisement.....	47
6.4.4.	Module 2 ('flat') en mode feu route	48
6.4.5.	Module 3 en mode feu de position.....	50
6.4.6.	Module 3 en mode DRL	51
6.5.	Résultats de mesures pour le projecteur 4 : Renault Espace	53
6.5.1.	Module 1 (feu de route).....	53
6.5.2.	Module 2 (feu de croisement)	54
6.5.3.	Module 3 (DRL).....	56
6.6.	Résultats de mesures pour le module DRL de la Toyota Auris Hybride	57
6.7.	Résultats de mesures pour le module DRL de la Peugeot 508 SW	59
6.8.	Résultats de mesures pour le module DRL de la Peugeot 508 RXH.....	60
6.9.	Récapitulatif de l'évaluation du groupe de risque photobiologique	62
6.9.1.	Feux de croisement	62
6.9.2.	Feux de route	63
6.9.3.	Feux DRL et feux de position	64
7.	PARTIE 2 : Durées limites d'exposition des piétons en fonction de l'âge, de la distance et de l'inclinaison du véhicule	66
7.1.	Données anthropométriques utilisées	66
7.2.	Données de hauteur des projecteurs.....	68
7.3.	Données concernant la direction du maximum d'intensité des feux	68
7.4.	Spectre de sensibilité de l'œil au dommage photochimique de la lumière bleue.....	70
7.5.	Valeur limite d'exposition ICNIRP	70
7.6.	Les différents scénarios d'observation du véhicule	71
7.6.1.	Les différentes inclinaisons du véhicule	71
7.6.2.	Les différentes distances d'observation.....	72
7.6.3.	Présentation des résultats	72
7.7.	Résultats sur le projecteur 1 : Citroën DS3	73
7.8.	Résultats sur le projecteur 2 : Peugeot 208	75
7.9.	Résultats sur le projecteur 3 : Peugeot 3008	76
7.10.	Résultats sur le projecteur 4 : Renault Espace	77
7.11.	Résultats sur le projecteur 5 : DRL de la Toyota Auris.....	78
7.12.	Résultats sur le projecteur 6 : DRL de la Peugeot 508 SW.....	79
7.13.	Résultats sur le projecteur 7 : DRL de la Peugeot 508 RXH.....	80
7.14.	Analyse des résultats selon l'âge	81
7.15.	Analyse des résultats selon la technologie.....	82
7.15.1.	Comparaison des technologies de feux de croisement.....	82
7.15.2.	Comparaison des technologies de feux de route	82
7.15.3.	Comparaison des feux DRL.....	83

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.16.	Analyse des résultats selon l'âge et la technologie	84
7.16.1.	Feux de croisement	84
7.16.1.	Feux de route	85

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

1. OBJET

La présente étude a été effectuée par le CSTB dans le cadre de l'avenant du 7 juillet 2017 à la convention de recherche et développement 2016-CRD-15 « exposition lumineuse » signée par l'Anses et le CSTB.

Cette étude porte sur l'éclairage automobile. Les deux objectifs poursuivis sont les suivants :

PARTIE 1 : Déterminer le groupe de risque photobiologique selon la norme NF EN 62471 des modules lumineux intégrés dans des projecteurs automobiles.

- Comparer les résultats obtenus avec les systèmes LED par rapport aux résultats obtenus avec les technologies halogènes et xénon.

PARTIE 2 : Evaluer les durées limites d'exposition de piétons en configurations réelles d'exposition en fonction de l'âge de l'observateur, de la technologie d'éclairage (halogène, xénon, LED) et de la distance d'observation selon les recommandations de l'ICNIRP.

- Comparer les résultats obtenus avec les systèmes LED par rapport aux résultats obtenus avec les technologies halogènes et xénon

Dans cette étude, seuls les rayonnements optiques du domaine visible ont été pris en compte. Les risques photobiologiques liés aux rayonnements ultraviolets et infrarouges n'ont pas été étudiés pour deux raisons :

- La technologie LED intégrée dans les feux testés ne produit pas de rayonnements UV ou IR.
- Quelle que soit leur technologie, les feux automobiles émettent des niveaux de rayonnements UV très faibles, limités à 10 $\mu\text{W}/\text{lm}$ par le règlement UNECE No. 98. L'absence de niveaux significatifs de rayonnement UV a été vérifiée par le CSTB lors des mesures spectrales.
- Seuls les feux halogènes émettent du rayonnement infrarouge avec un niveau significatif.

La comparaison entre les différentes technologies d'éclairage automobile est donc effectuée en étudiant le risque photobiologique de la lumière bleue, correspondant à l'endommagement de la rétine par des processus photochimiques résultant d'une exposition unique aiguë à la lumière bleue. Ce processus est décrit dans les recommandations internationales de l'ICNIRP citées dans la partie Textes de Référence de ce rapport.

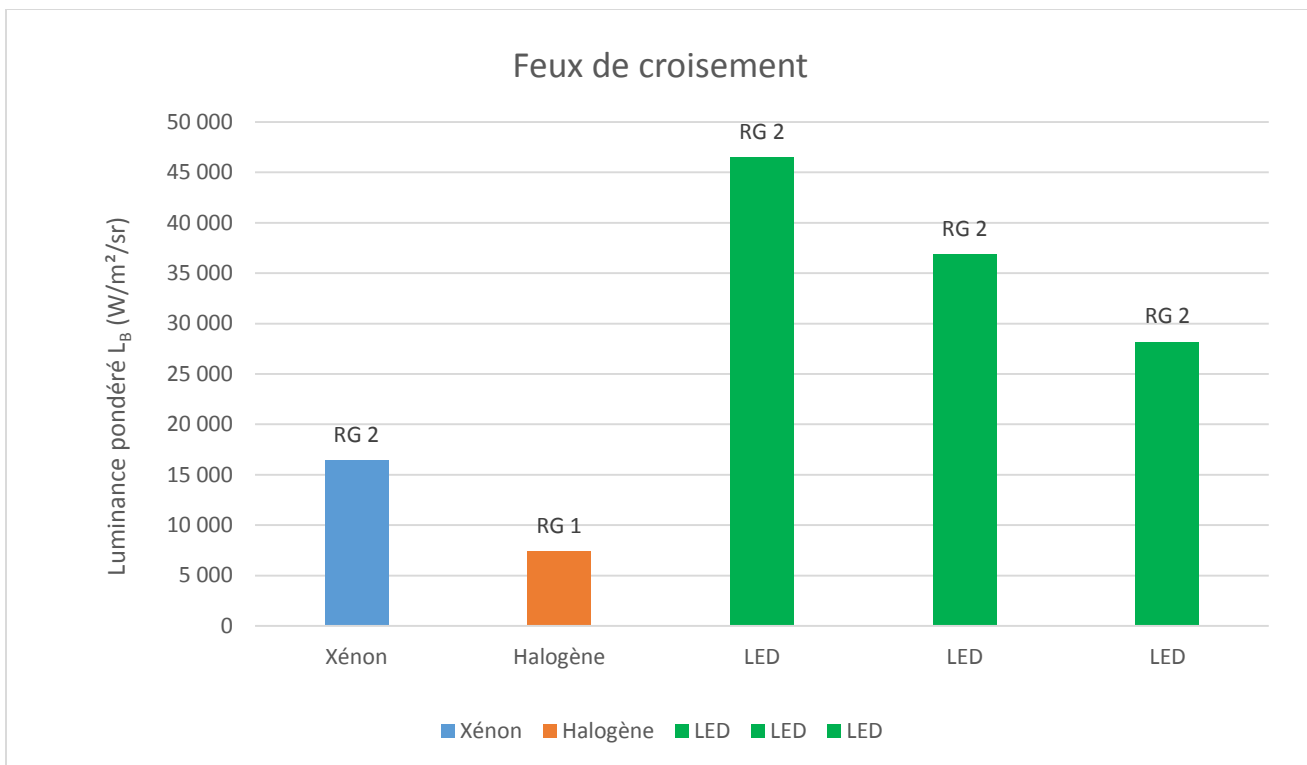
CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

2. RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE

2.1. Résultats de la PARTIE 1 : GROUPES DE RISQUE NF EN 62471

Les graphes suivants récapitulent les mesures obtenues, en séparant les feux de croisement des feux de routes et des feux DRL.

2.1.1. Feux de croisement



Les feux de croisement à LED testés sont tous en groupe de risque 2 (risque modéré).

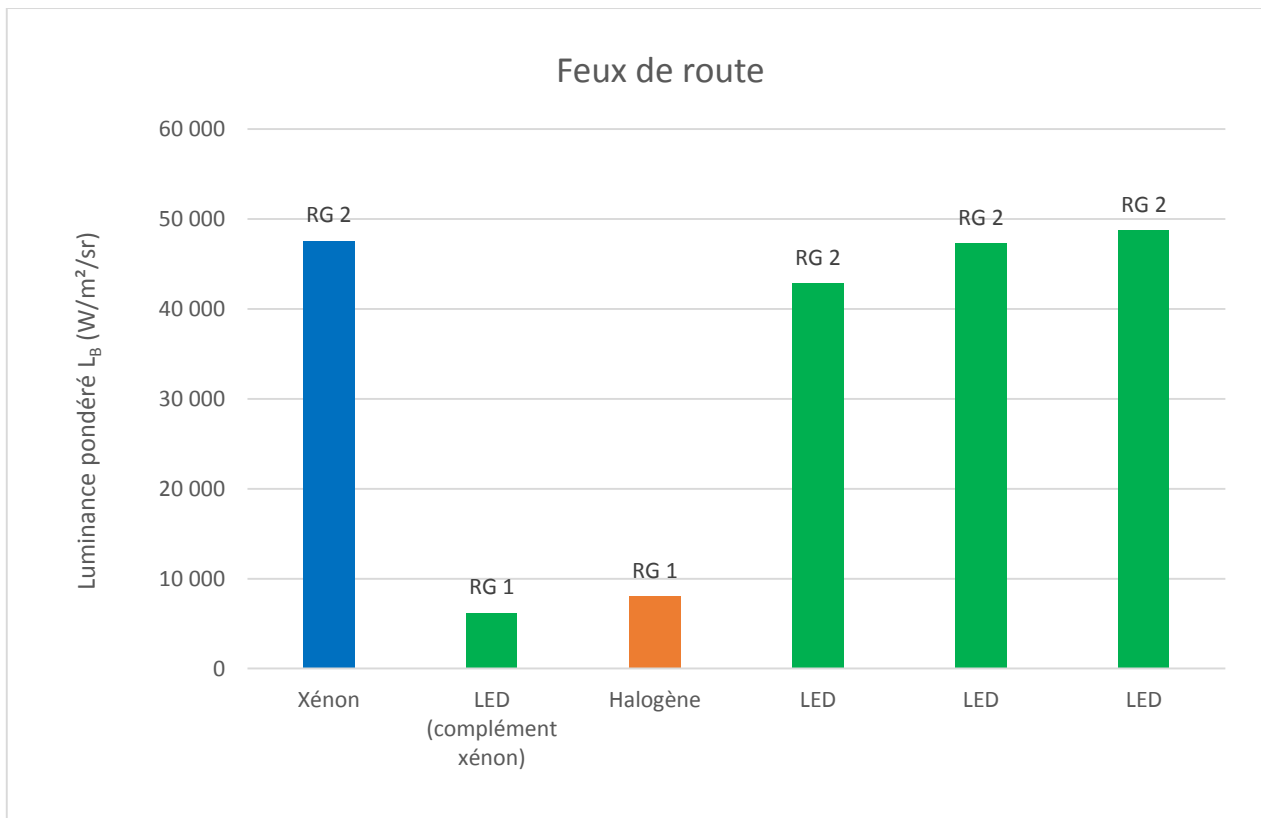
Les luminances pondérées dans le bleu des feux de croisement LED sont 4 à 6 fois plus élevées que celle du feu de croisement halogène.

Le feu de type xénon testé a une luminance pondérée dans le bleu environ deux fois plus élevée que celle du feu de croisement halogène. Il est également classé en groupe de risque 2 (risque modéré).

Seul le feu de croisement halogène est classé en groupe de risque 1 (risque faible).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

2.1.2. Feux de route



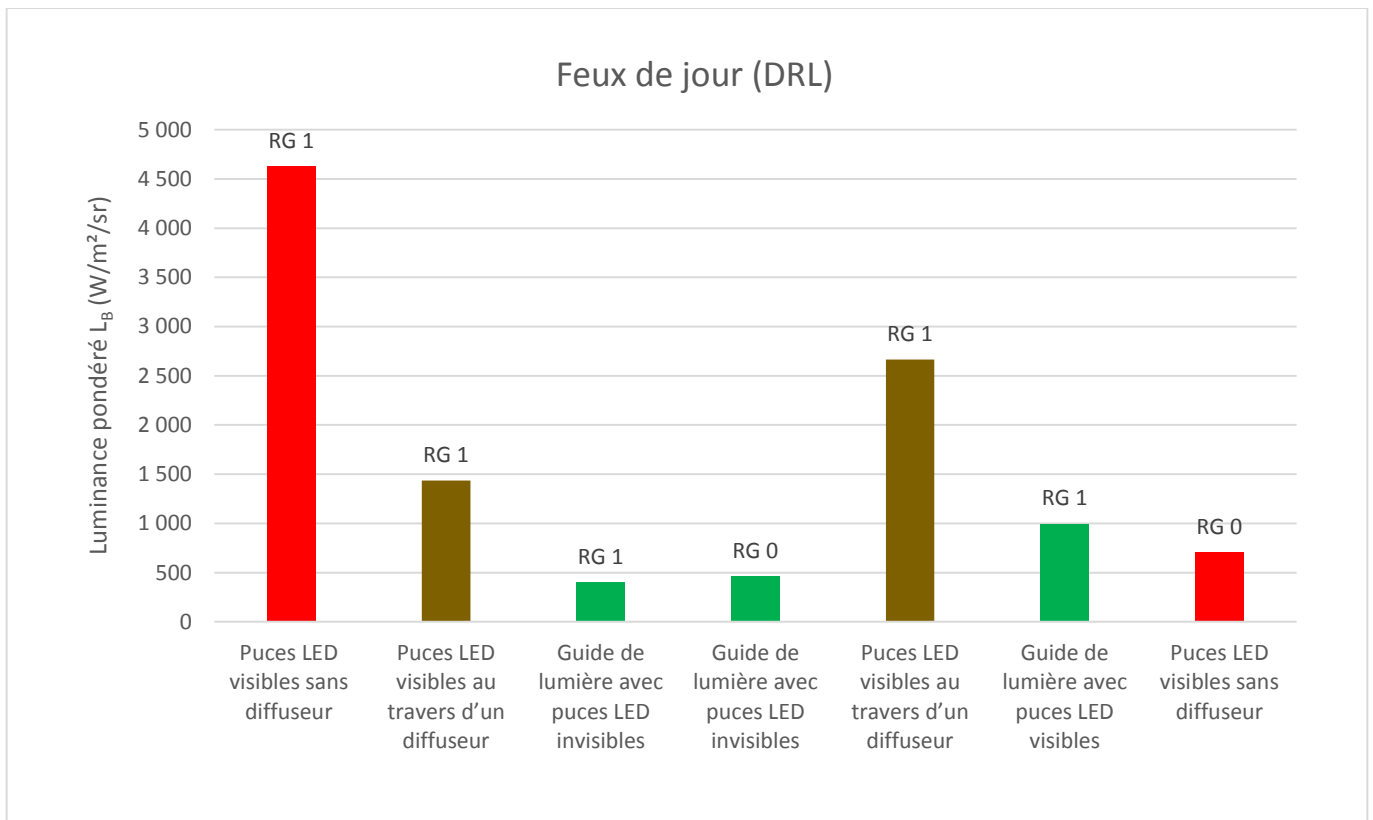
A l'exception du feu LED fonctionnant en complément du feu au xénon, les feux de route de type xénon et LED testés sont tous classés en groupe de risque 2 (risque modéré).

Les luminances pondérées dans le bleu des feux de route xénon et LED ont des niveaux semblables, environ 5 fois plus élevés que celle du feu halogène testé.

Seul le feu de route halogène est classé en groupe de risque 1 (risque faible).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

2.1.3. Feux de jour (DRL)



Les groupes de risque photobiologique mesurés sur les DRL testés sont 0 (sans risque) et 1 (risque faible).

Le niveau de luminance le plus élevé correspond à un DRL ayant des LED dont les puces sont directement visibles par l'observateur.

Le niveau de luminance le plus faible correspond également à un DRL utilisant ce principe, mais avec des niveaux d'intensité inférieurs.

Les dernières générations de DRL sont conçues avec un guide de lumière qui évite la vision directe des LED. Les luminances sont plus faibles que celles des DRL conçus avec des LED visibles (visibles directement ou au travers d'un élément optique diffusant).

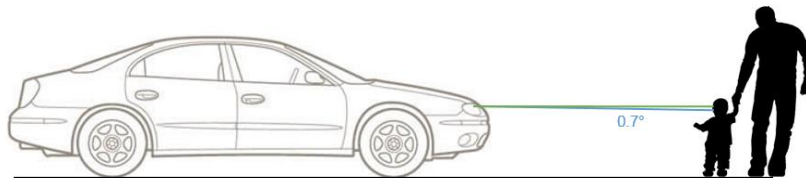
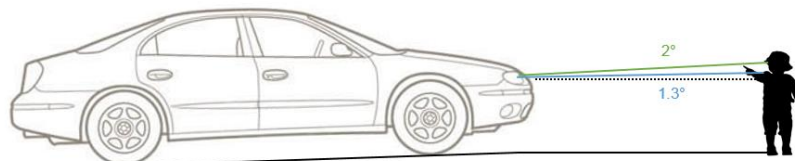
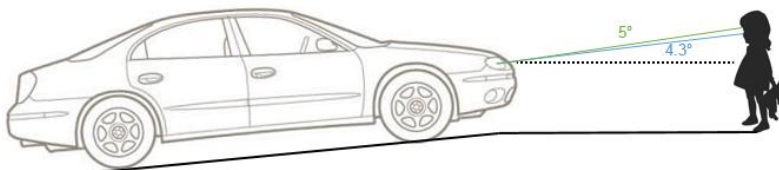
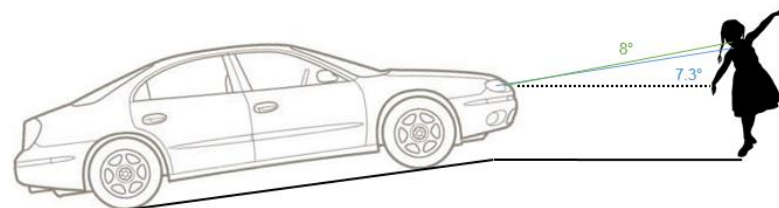
Les feux de position testés sont tous classés en groupe de risque 0 (sans risque).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

2.2. Résultats de la PARTIE 2**2.2.1. Scénarios d'exposition**

Les scénarios d'exposition sont basés sur l'exposition d'un piéton immobile dont les yeux sont exposés à l'éclairage d'une automobile à l'arrêt, dans la direction du maximum d'intensité pour chacun des 4 feux considérés : route, croisement, DRL et position. Les distances d'exposition varient de 0.2 m à 30 m. L'âge de l'observateur est déterminé par la hauteur du point d'incidence du maximum d'intensité du faisceau. Plus il est bas, plus l'observateur correspondant est jeune.

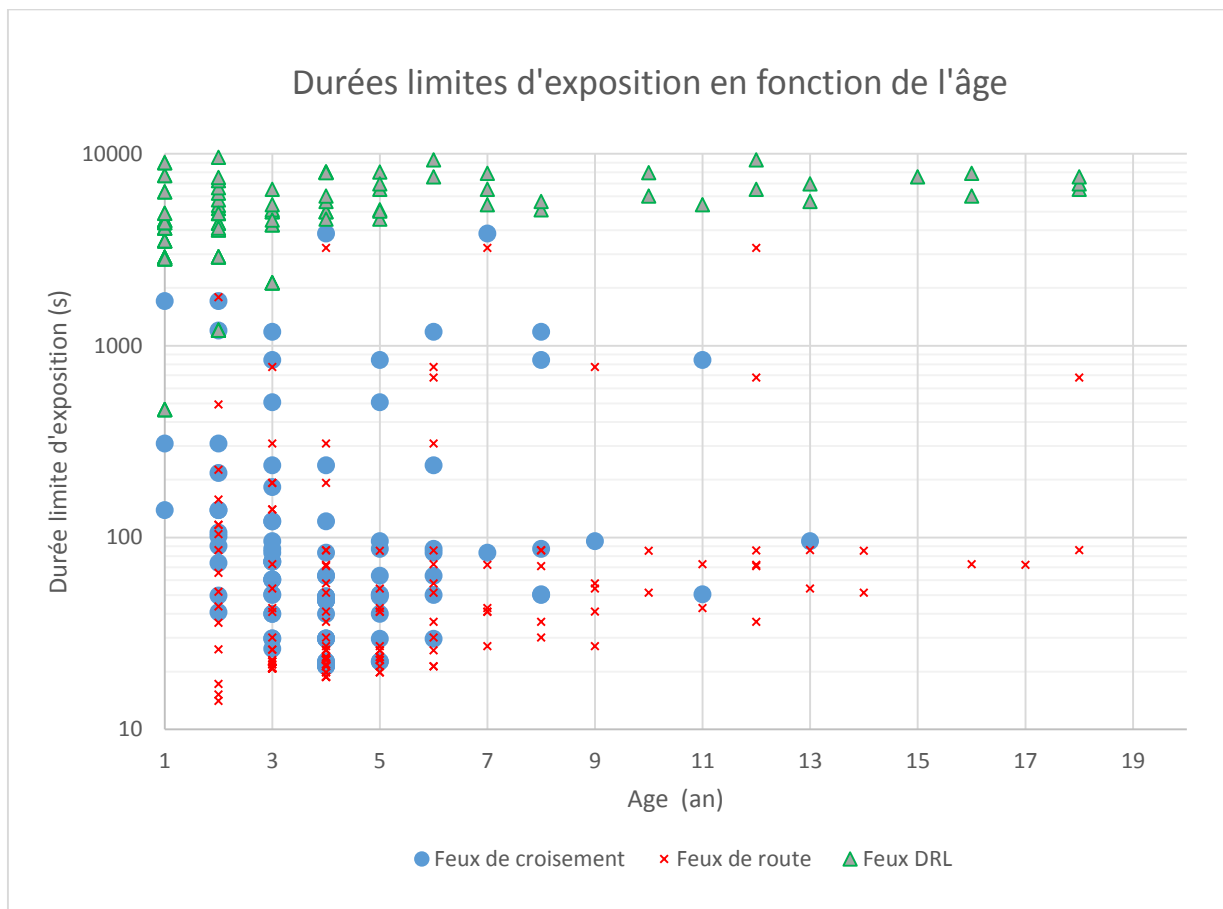
Plusieurs inclinaisons de véhicules sont considérées : véhicule à plat avec un éclairage bien réglé, véhicule chargé à l'arrière sans compensation d'assiette de l'éclairage, véhicule sur des pentes montantes de 3.5%, 8.7% et 14%.

**Cas a : véhicule à plat****Cas b : véhicule sur une pente de 3.5%****Cas c : véhicule sur une pente de 8.7%****Cas d : véhicule sur une pente de 14%**

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

2.2.2. Analyse des résultats selon l'âge

Le graphe ci-dessous rassemble l'ensemble des durées limites d'exposition obtenues pour les feux de route, les feux de croisement et les DRL en fonction de l'âge des observateurs ayant les yeux dans le maximum d'intensité du faisceau considérée, pour des distances allant de 0.2 m à plus de 10 m.



On constate que dans toutes les configurations étudiées, ce sont toujours les très jeunes enfants qui subissent l'exposition la plus critique (durées limites d'exposition les plus faibles correspondant aux luminances les plus élevées). En effet, la hauteur des yeux des jeunes enfants est proche de la hauteur des feux automobiles. Lorsque le véhicule éclaire normalement (à plat ou avec une faible inclinaison), les yeux sont exposés au maximum de luminance des feux à des distances assez courtes (de 20 cm et quelques mètres).

On constate logiquement que l'exposition aux feux de route, qui sont les plus puissants, est la plus critique : les durées limites d'exposition augmentent à peu près linéairement de 14 s pour un enfant de 2 ans (distance 0.2 m) à 86 s pour un adulte (distance supérieure ou égale à 6 m).

Dans le cas des feux de croisement, les durées limites d'exposition les plus courtes sont comprises entre 19 s pour un observateur de 4 ans (distance comprise entre 4 et 5 m) pour un observateur de 13 ans (distance de 4 m).

Dans le cas des DRL, la durée limite d'exposition la plus courte est de 463 s pour un enfant de 1 an exposé au maximum du faisceau à la distance de 0.2 m. Il s'agit dans ce cas d'un feu DRL utilisant des LED directement visibles par l'observateur. Les DRL de conception plus récente, utilisant des LED associées à des guides de lumière,

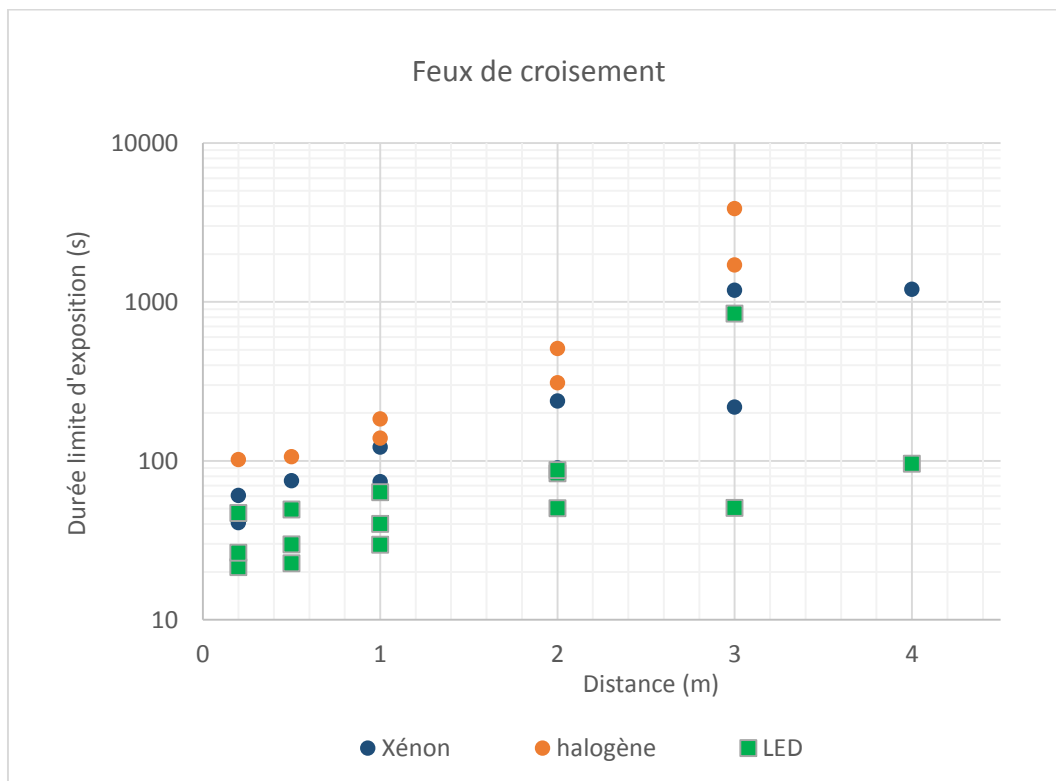
CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

conduisent à des expositions moins critiques. Les durées limites d'exposition les plus couramment obtenues sont toujours supérieures à 1000 s.

2.2.3. Analyse des résultats selon la technologie

Comparaison des technologies de feux de croisement

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de croisement testés et pour tous les âges d'observateurs.



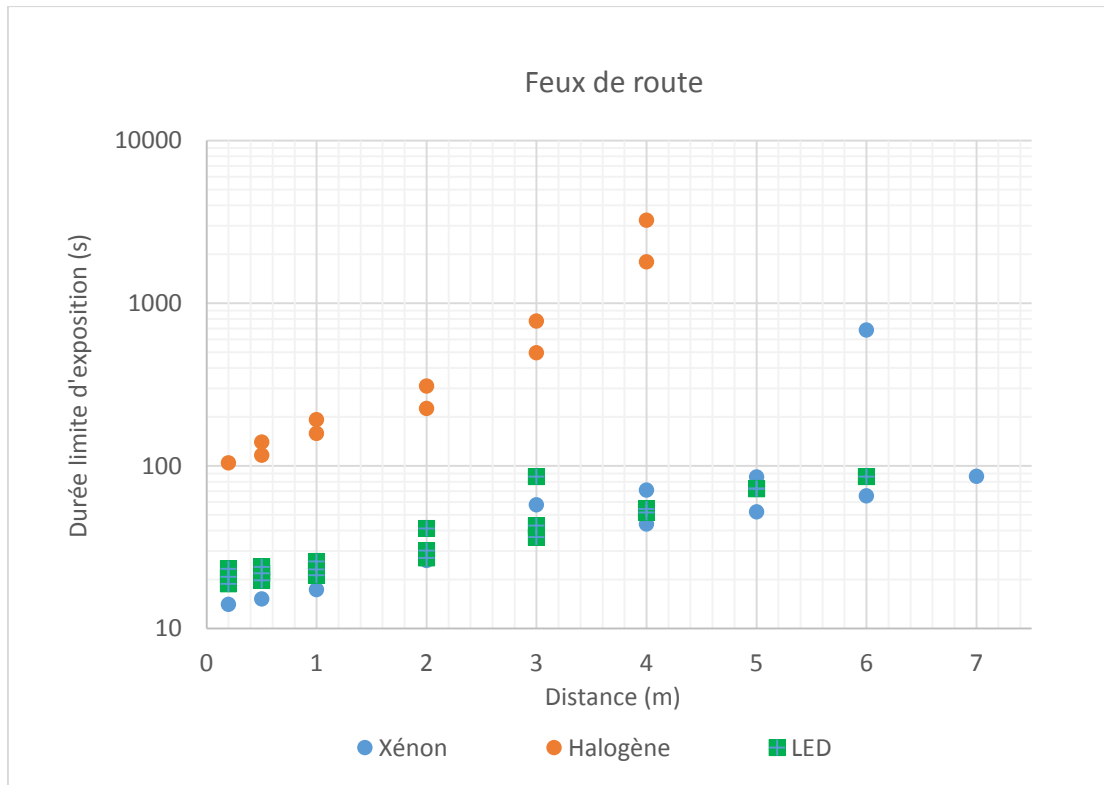
Les durées limites d'exposition pour la technologie halogène n'est jamais inférieure à 100 s, tandis qu'elle peut être de l'ordre de 40 s pour les technologies xénon et LED.

Les résultats montrent que les feux de croisement LED produisent des situations d'exposition plus critiques que les feux de croisement xénon, qui eux-mêmes produisent des situations d'expositions plus critiques que les feux de croisement halogène.

Comparaison des technologies de feux de route

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de route testés et pour tous les âges d'observateurs.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Pour les feux de route, les technologies LED et xénon donnent des durées limites d'exposition assez similaires.

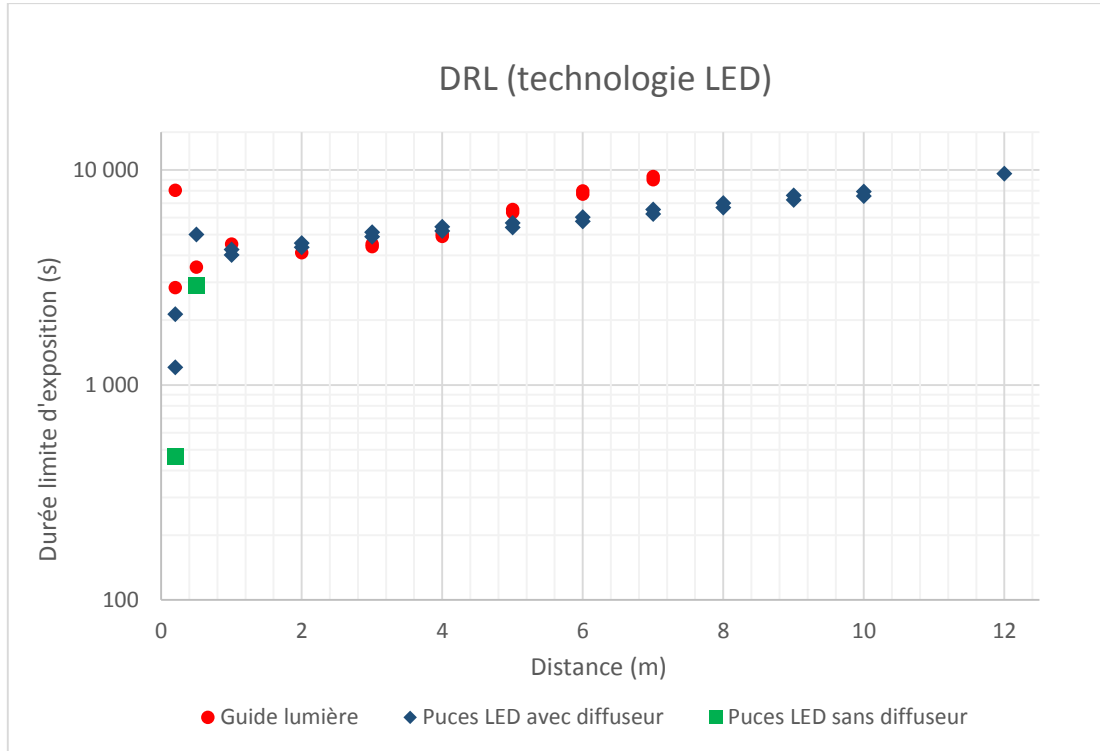
Les feux de route halogène sont associés à des durées limites d'exposition ne descendant pas en dessous de 100s.

Les feux de route LED et xénon sont associés à des durées limites d'exposition comprises en 14 s et 20 s à très courte distance (0.2 m).

Comparaison des feux DRL

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de croisement testés et pour tous les âges d'observateurs.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Ce graphe ne fait pas apparaître les feux DRL qui ne sont pas associés à une durée limite d'exposition (pas de dépassement de la VLE) :

- feu DRL à puces LED visibles sans diffuseur de la Peugeot 508 RXH
- feu DRL à guide de lumière de la Renault Espace

On constate que les durées limites d'exposition les plus longues (exposition les moins critiques) correspondent aux DRL fonctionnant sur le principe d'un guide de lumière dont les puces LED sont invisibles.

Pour les cinq feux DRL associés à un dépassement de la VLE, les durées limites d'exposition varient entre 463 s et 10 000 s pour des distances allant de 0.2 m à 12 m

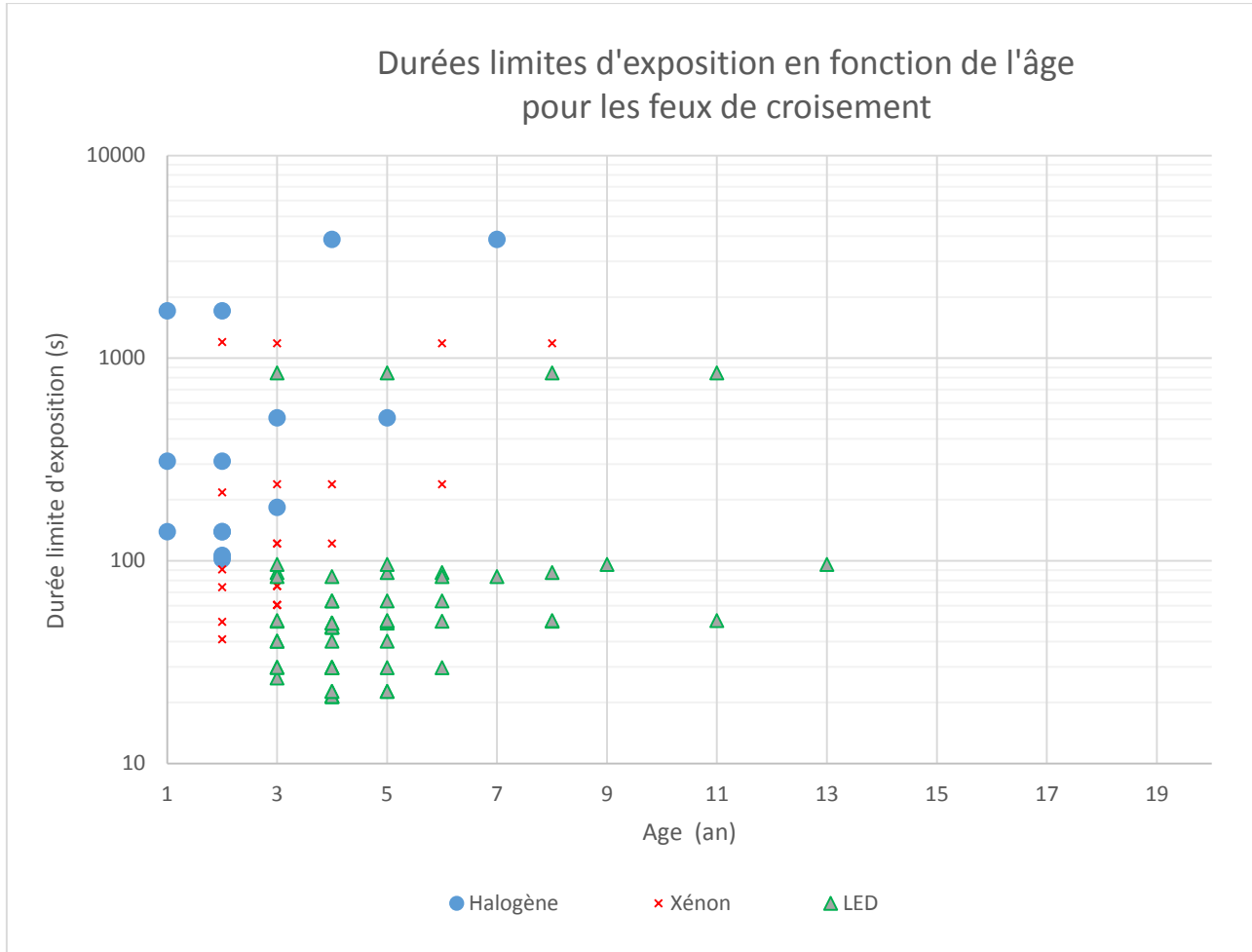
La durée d'exposition la plus courte (exposition la plus critique) correspond à un feu DRL dont les puces LED sont visibles directement par l'observateur. Cette exposition la plus critique correspond à un enfant de 1 an exposé à ce feu DRL à la distance à 0.2 m. Dans ce cas, la durée limite d'exposition est de 463 s (entre 7 et 8 minutes).

2.2.4. Analyse des résultats selon l'âge et la technologie

Feux de croisement

Le graphe ci-dessous représente les mesures obtenues pour les feux de croisement, en fonction de l'âge et en différenciant les 3 technologies d'éclairage.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

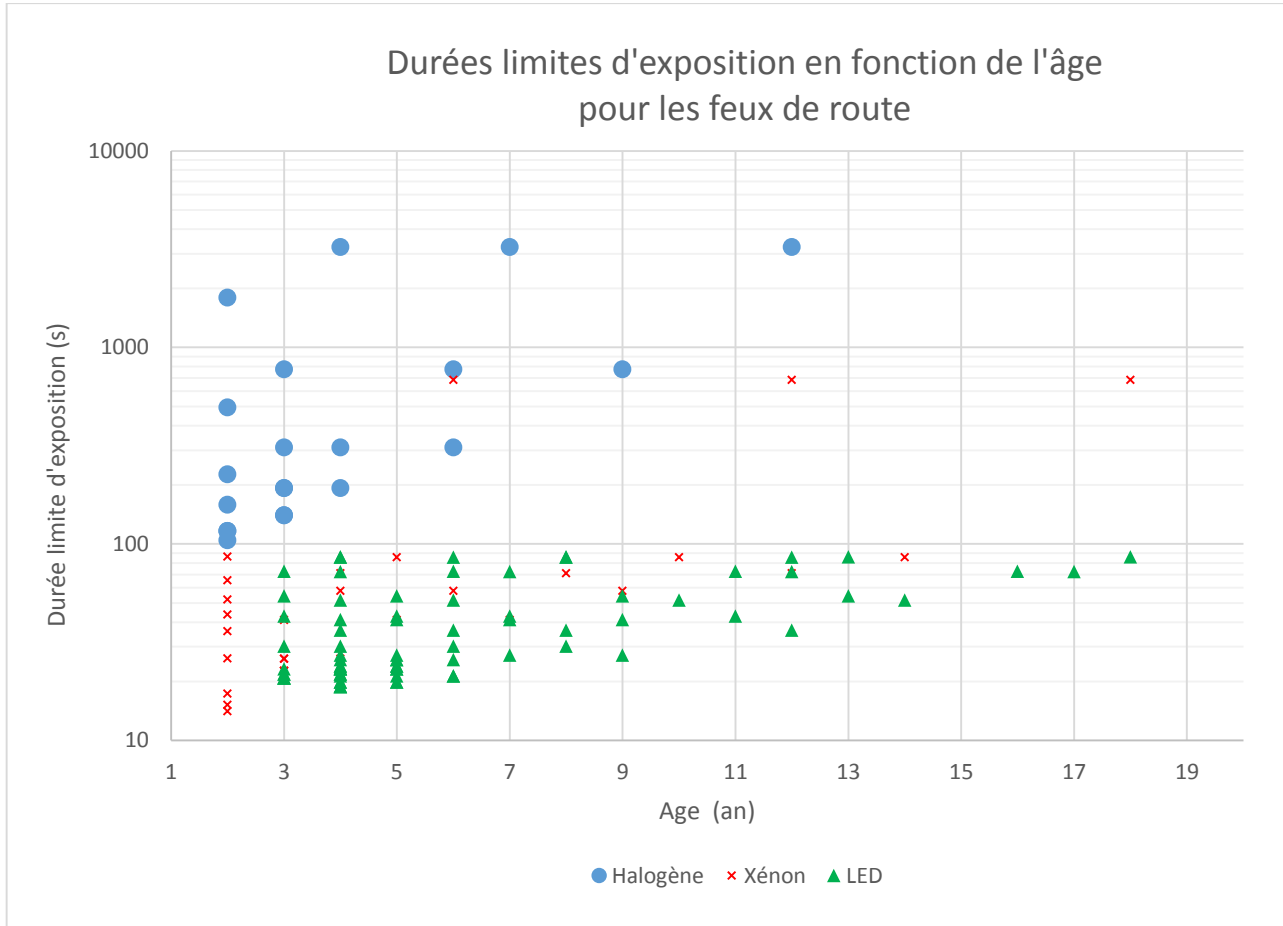


Ce graphe indique que les feux de croisement à LED conduisent à des expositions plus critiques (durées limites d'exposition plus courtes) chez les enfants, par rapport aux technologies xénon et halogène. La durée d'exposition la plus courte (22 s) est observée pour un enfant de 4 ans exposé à un feu de croisement à LED à 0.2 m.

Feux de route

Le graphe ci-dessous représente les mesures obtenues pour les feux de route, en fonction de l'âge et en différenciant les 3 technologies d'éclairage.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Bien que la situation d'exposition la plus critique soit produite par un feu de route au xénon avec un enfant de 2 ans, on constate que pour les observateurs âgés de 3 ans et plus, les feux de route à LED conduisent à des expositions plus critiques que celles produites par les feux de route au xénon et les feux de route halogènes.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

3. TEXTES DE RÉFÉRENCE

- ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-91; 2013
- Norme NF EN 62471 : 2008 "Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes"
- Rapport technique IEC TR 62778-1, Edition 2 – 2014 "Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires"
- Technical note CIE TN-002:2014 "Relating Photochemical and Photobiological Quantities to Photometric Quantities"
- Règlement UNECE No. 87 « Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des feux-circulation diurnes pour véhicules à moteur »
- Règlement UNECE No. 98 « Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des projecteurs de véhicules à moteur munis de sources lumineuses à décharge »
- Règlement UNECE No. 112 « Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des projecteurs pour véhicules automobiles émettant un faisceau de croisement asymétrique ou un faisceau de route ou les deux à la fois et équipés de lampes à incandescence et/ou de modules à diode électroluminescente (DEL) »
- Règlement UNECE No. 113 « Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des projecteurs pour véhicules automobiles émettant un faisceau de croisement symétrique ou un faisceau de route ou les deux à la fois et équipés de lampes à incandescence, de sources lumineuses à décharge ou de modules DEL »

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

4. PROJECTEURS AUTOMOBILES TESTES**Description :**

- Quatre projecteurs automobiles fabriqués et fournis par Valeo spécialement pour cette étude. Les projecteurs ont été fournis avec les connecteurs et les instructions de câblage.
- Projecteurs intégrés à deux véhicules de la flotte du CSTB.
- Projecteur intégré au véhicule d'un employé du CSTB

On ne s'intéresse qu'aux feux de route (plein phare), de croisement (code), de position (veilleuse) et aux DRL (*Daytime Running Light* ou feux de jour). Les feux arrière et les clignotants ne sont pas concernés par cette étude.

4.1. Projecteur de Citroën DS3

Ce phare équipe les Citroën DS3 de dernière génération. Ses feux de route et de position sont en LED. Le feu de croisement est en xénon (lampe à décharge). Lors du passage en feu de route, le module xénon bascule en faisceau haut. Sur ce véhicule, les DRL sont déportés en partie inférieur du pare choc.

Valeo a confirmé que le pourtour du projecteur formant un 'C', servant comme feu de position, est purement esthétique. Celui-ci ne sera pas étudié en raison de son très faible niveau de luminance.



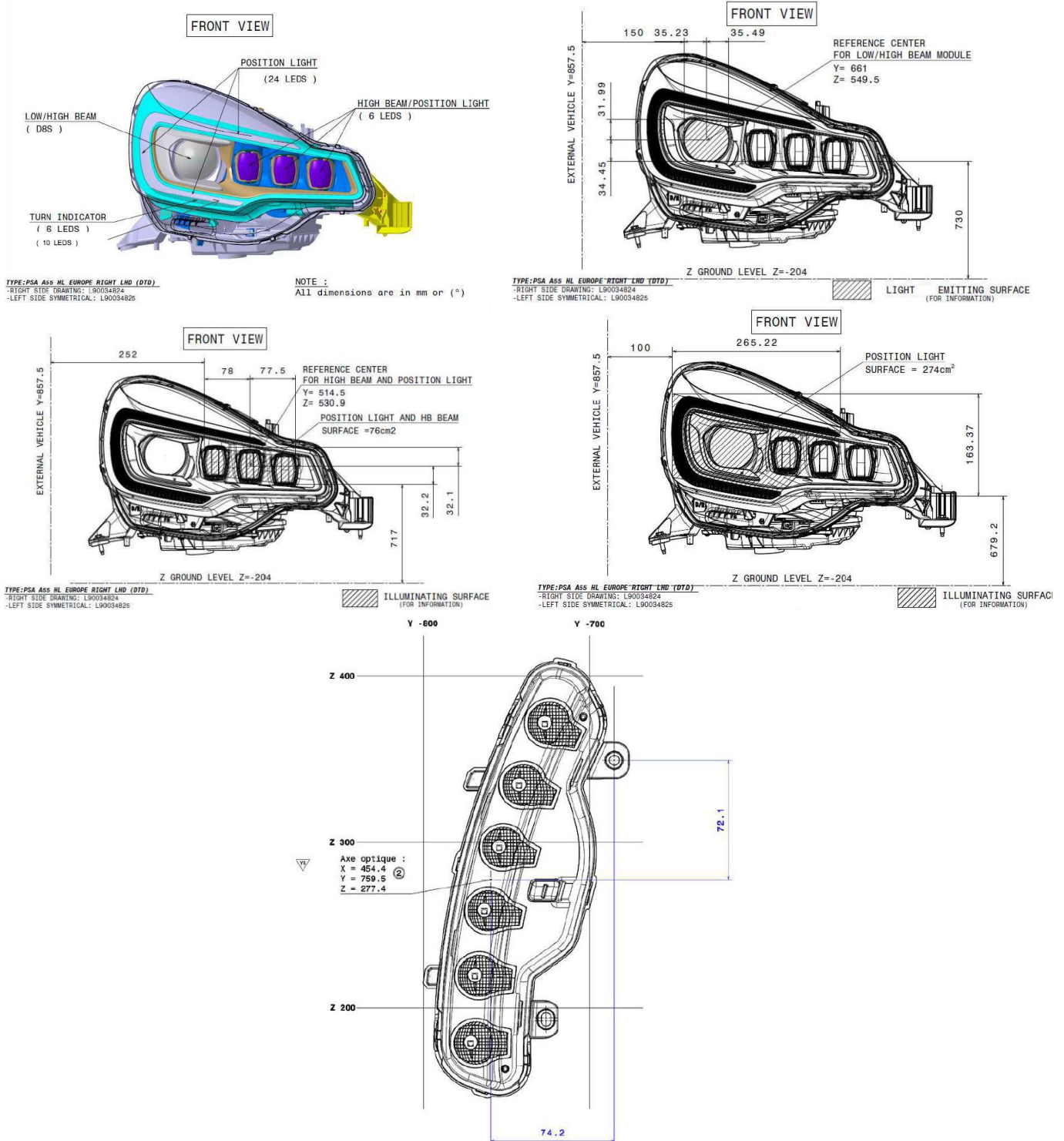
Photo du véhicule (trouvée sur internet)



Etiquette collée sur le phare fourni

Les dessins techniques ci-dessous ont été fournis par Valeo. On peut trouver notamment certaines spécifications comme les dimensions des éléments et la position du phare par rapport au sol. Ces éléments seront utilisés pour effectuer des projections optiques pour l'analyse de situations concrètes potentiellement dangereuses pour les piétons. Contrairement à la documentation, le phare fourni est un phare gauche. Selon Valeo, le phare est complètement symétrique. Au regard de ces côtes pour le DRL, la valeur par rapport au sol du centre optique a été directement relevée sur un véhicule d'un agent du CSTB.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les photos ci-dessous ont été réalisées par le CSTB.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Projecteur sur le support de mesure



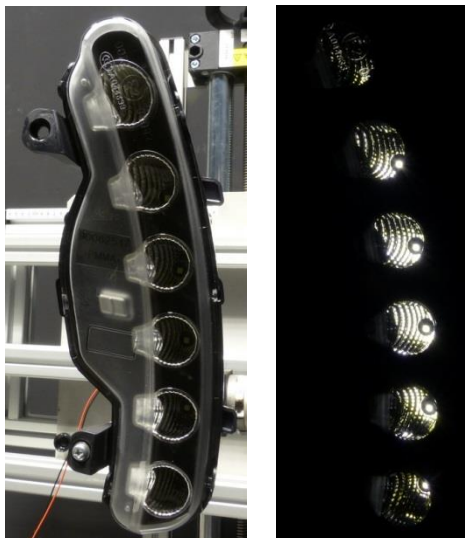
Photo prise sous très courte exposition



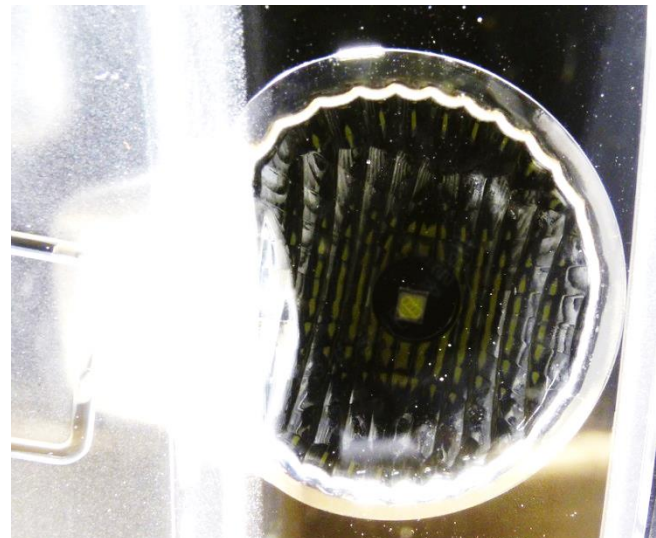
Agrandissement sur le module xénon



Agrandissement sur le feu de position et route



Optique DRL éteint et allumé (photo sous très courte exposition à f/8, 1/2000, 100 ISO)



Agrandissement sur une des optiques du DRL

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

4.2. Projecteur de Peugeot 208

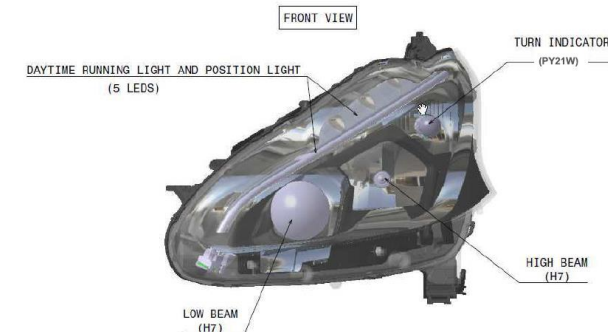
Ce phare équipe les Peugeot 208. Il y a deux optiques principales et deux éléments LED. Lorsque l'on observe le projecteur de face, l'optique de droite est le feu de route. L'optique de gauche est le feu de croisement. Les deux optiques fonctionnent avec une lampe halogène. En partie supérieure, on trouve un guide de lumière LED ainsi que trois petits blocs LED. Ce dernier ensemble est utilisé en tant que feu de position (intensité lumineuse importante) ou DRL (intensité lumineuse réduite).



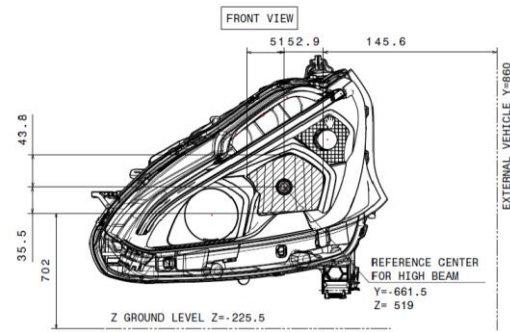
Photo du véhicule (trouvée sur internet)

Etiquette collée sur le phare fourni

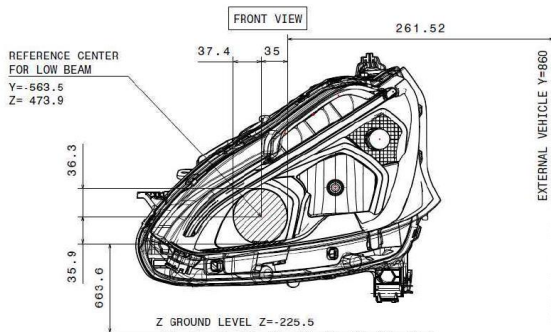
Les dessins techniques ci-dessous ont été fournis par Valeo. On peut trouver notamment certaines spécifications comme les dimensions des éléments et la position du phare par rapport au sol. Ces éléments seront utilisés pour effectuer des projections optiques pour l'analyse de situations concrètes potentiellement dangereuses pour les piétons.



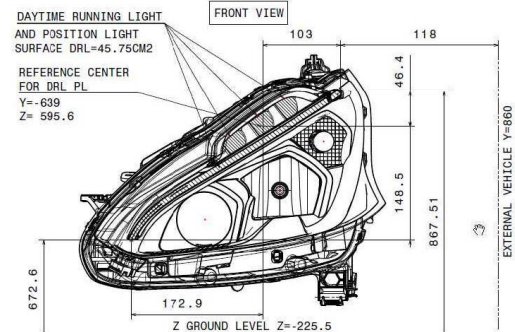
TYPE:PSA ARMY HALOGEN
-LEFT SIDE DRAWING: 90047883
-RIGHT SIDE SYMMETRICAL: 89502899



TYPE:PSA ARMY HALOGEN
-LEFT SIDE DRAWING: 90047883
-RIGHT SIDE SYMMETRICAL: 89502899



TYPE:PSA ARMY HALOGEN
-LEFT SIDE DRAWING: 90047883
-RIGHT SIDE SYMMETRICAL: 89502899



TYPE:PSA ARMY HALOGEN
-LEFT SIDE DRAWING: 90047883
-RIGHT SIDE SYMMETRICAL: 89502899

Les photos ci-dessous ont été réalisées par le CSTB.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Projecteur sur le support de mesure



Agrandissement sur le feu de route



Agrandissement sur le feu de croisement



Agrandissement sur le feu de position et DRL

4.3. Projecteur de Peugeot 3008

Ce phare équipe les Peugeot 3008 de dernière génération. Le projecteur est intégralement équipé en modules LED. On dénombre trois blocs d'éclairage. Vue de face, l'optique la plus à droite est un module dit 'kink' et l'optique de gauche est un module dit 'flat'. Ces deux modules servent pour les deux de croisement et de route. En partie supérieure on trouve un guide de lumière faisant office de feu DRL et de position.



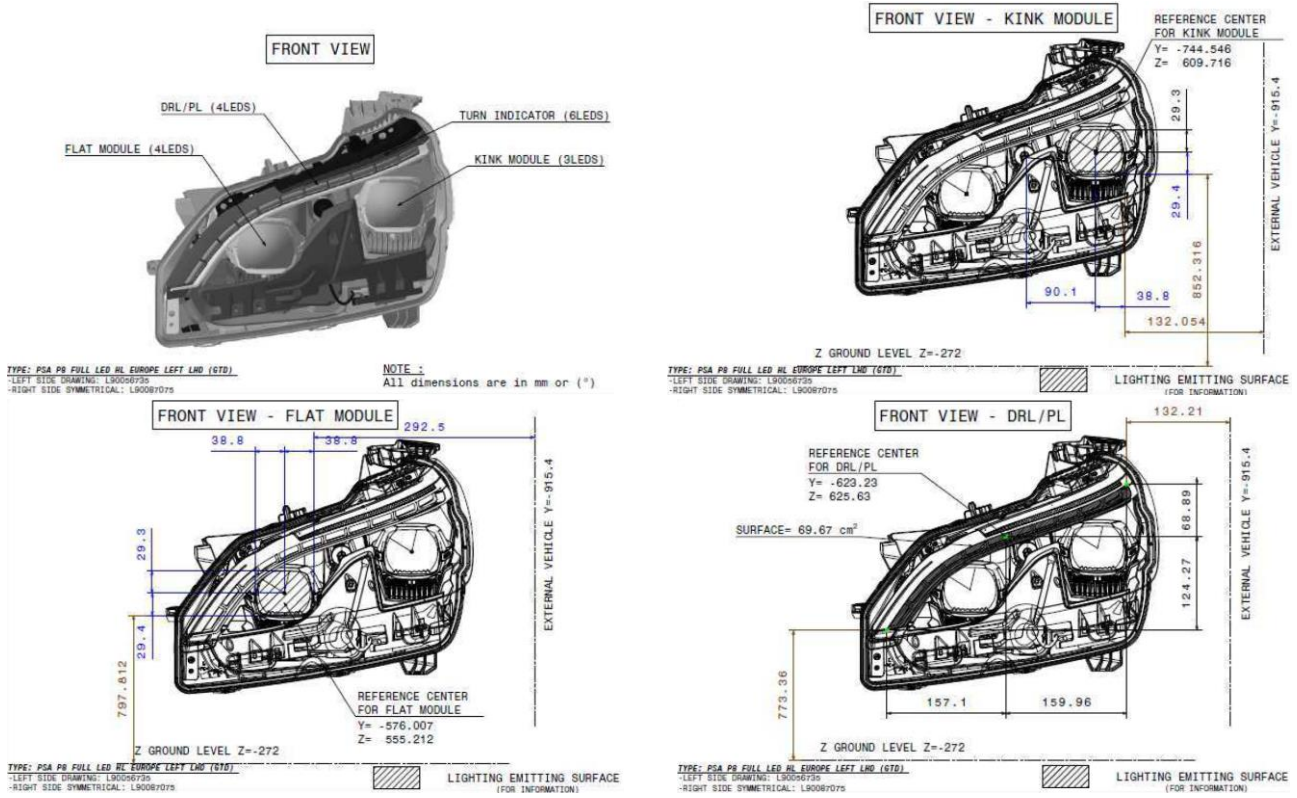
Photo du véhicule (trouvée sur internet)



Etiquette collée sur le phare fourni

Les dessins techniques ci-dessous ont été fournis par Valeo. On peut trouver notamment certaines spécifications comme les dimensions des éléments et la position du phare par rapport au sol. Ces éléments seront utiles pour effectuer des projections optiques pour l'analyse de situations concrètes potentiellement dangereuses pour les piétons.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les photos ci-dessous ont été réalisées par le CSTB.



Projecteur sur le support de mesure



Agrandissement sur l'optique kink



Agrandissement sur l'optique flat



Agrandissement sur le DRL

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

4.4. Projecteur de Renault Espace

Ce phare équipe les Renault Espace de dernière génération. Le projecteur est intégralement équipé en modules LED. On dénombre trois blocs d'éclairage. Vu de face, l'optique la plus à droite est le feu de route et l'optique de gauche est le feu code. Autour de ce phare, on trouve un guide de lumière faisant office de feu DRL et de position. Le module feu de route porte le nom 'LED Pure Vision'. Aucune indication n'est présente sur le module du feu code.

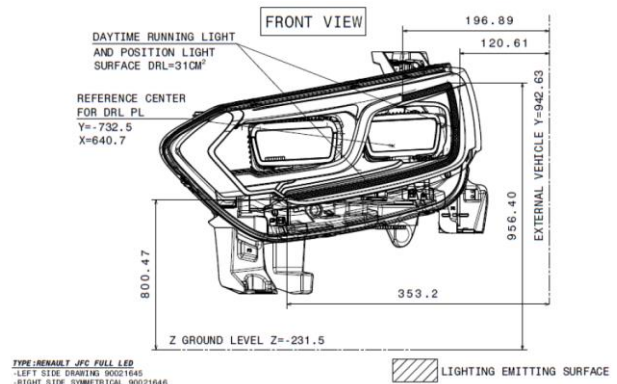
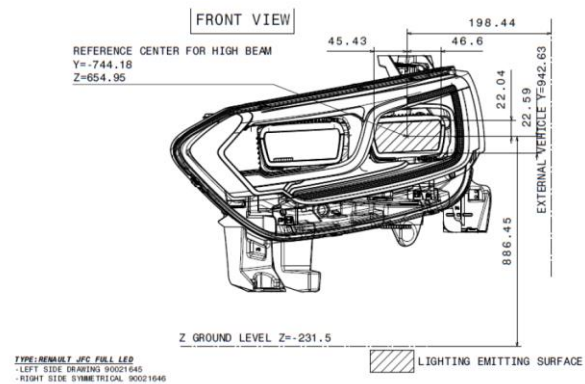
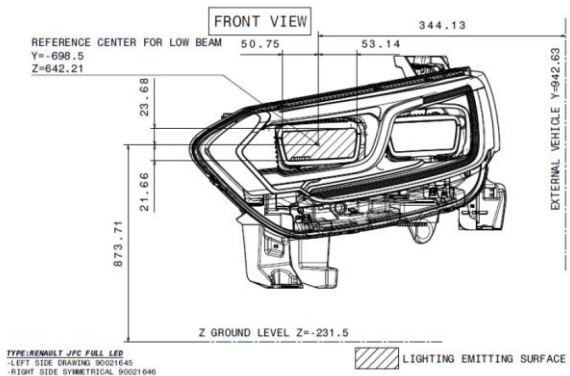
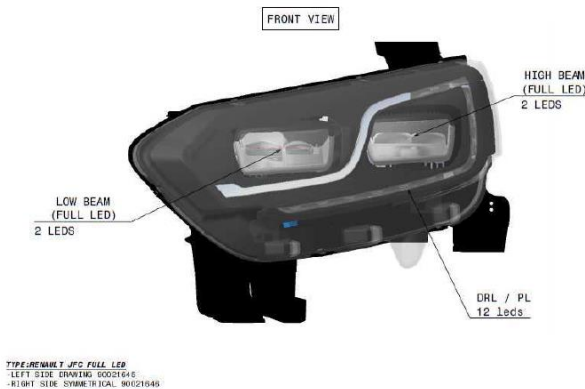


Photo du véhicule (trouvée sur internet)



Etiquette collée sur le phare fourni

Les dessins techniques ci-dessous ont été fournis par Valeo. On peut trouver notamment certaines spécifications comme les dimensions des éléments et la position du phare par rapport au sol. Ces éléments seront utilisés pour effectuer des projections optiques pour l'analyse de situations concrètes potentiellement dangereuses pour les piétons.



Les photos ci-dessous ont été réalisées par le CSTB.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Projecteur sur le support de mesure



Agrandissement sur le module du feu de route



Agrandissement sur le module du feu de croisement



Agrandissement sur le feu de position et DRL

4.5. Feu DRL de Toyota Auris Hybride (Phase 2)

Ce véhicule fait partie de la flotte du CSTB Grenoble. Il a été emprunté afin de caractériser son feu DRL. Les caractéristiques du phare comme la hauteur par rapport au sol, véhicule en condition normale de roulage, ont été relevés par le CSTB. A noter que ce faisceau DRL a évolué sur le dernier modèle, celui-ci semble reprendre le système à guide de lumière plutôt que le système à optique très directif. La position de ce DRL par rapport au sol est de de 69 cm.



Photo du véhicule (trouvée sur internet)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile**4.6. Feu DRL de Peugeot 508 SW (modèle 2015)**

Ce véhicule fait partie de la flotte du CSTB Grenoble. Il a été emprunté afin de caractériser son feu DRL. Les caractéristiques du phare comme la hauteur par rapport au sol, véhicule en condition normale de roulage, ont été relevés par le CSTB. La position du DRL par rapport au sol est de 38 cm.



Photo du véhicule (trouvée sur internet)

4.7. Feu DRL de Peugeot 508 RXH

Ce véhicule appartient à une employée du CSTB qui a accepté de prêter son véhicule pour les mesures. Le véhicule a été emprunté afin de caractériser son feu DRL. Les caractéristiques du phare comme la hauteur par rapport au sol, véhicule en condition normale de roulage, ont été relevés par le CSTB. La position du DRL par rapport au sol est de 25 cm. Le projecteur DRL est très directif. Comme le montre les photos, on peut apercevoir les LED positionnées tout juste derrière les parties optiques. Il n'y a pas de diffuseur ou guide de lumière ce qui produit un fort éblouissement quand on observe le feu directement en face, à sa hauteur.



**Photo du véhicule
(nouveau modèle, trouvée sur internet)**



**Photo CSTB du véhicule testé.
Agrandissement sur le DRL**

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

5. MATERIEL DE MESURE

Les essais ont été réalisés par Nicolas Picard dans le laboratoire d'éclairage du CSTB de Saint Martin d'Hères avec les instruments suivants :

Désignation	Type	Marque	N° de série
Vidéoluminancemètre (caméra photométrique) muni du logiciel ProMetric	PM 1613 F-1	Radiant Vision Systems	49912384
Objectif du vidéoluminancemètre	14 mm 1:2.8D (grand angle)	Nikon	218280
Objectif du vidéoluminancemètre	50 mm	Sigma	4058330
Spectroradiomètre	CAS140B-CT	Instrument Systems	348214213
Alimentation	FTN 40100	Fontaine	
Densité neutre externe	Nuance ND32 (3%T)	COKIN	

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile**6. PARTIE 1 : Evaluation du groupe de risque photobiologique selon la norme NF EN 62471****6.1. Méthode de mesure**

L'évaluation des produits testés est effectuée selon la norme NF EN 62471. Pour les produits d'éclairage général, la norme NF EN 62471 spécifie une distance d'évaluation correspondant à un niveau d'éclairage de 500 lx. Pour les produits comportant des sources lumineuses mais n'étant pas destinés à de l'éclairage général, la distance d'évaluation de la norme NF EN 62471 est de 200 mm.

Le rapport technique IEC TR 62778-1, spécifique à l'évaluation du risque à la lumière bleue, recommande quant à lui d'utiliser une distance d'évaluation de 200 mm pour tous les produits lorsque le risque de la lumière bleue est présent.

Dans cette étude, la distance de 200 mm a donc été retenue par le CSTB pour l'évaluation du groupe de risque. La mesure a été effectuée pour trois durées d'exposition : 0,25 s, 100 s et 10 000 s. Ces valeurs correspondent aux limites des groupes de risques tels qu'ils sont définis par la norme NF EN 62471 :

- Groupe de risque RG 0 « sans risque » : la limite d'exposition n'est jamais atteinte ou est atteinte au-delà de 10 000 s d'exposition continue.
- Groupe de risque RG 1 « risque faible » : la limite d'exposition est atteinte pour une durée d'exposition comprise entre 100 s et 10 000 s.
- Groupe de risque RG 2 « risque modéré » : la limite d'exposition est atteinte pour une durée d'exposition comprise entre 0.25 s et 100 s.
- Groupe de risque RG 3 « risque élevé » : la limite d'exposition est atteinte pour une durée d'exposition inférieure à 0.25 s.

Les trois durées d'exposition étudiées correspondent à trois valeurs de champ de vision effectif, définis par des angles donnés dans la norme NF EN 62471 :

- Durée d'exposition de 0,25 s : champ de vision effectif de 1,7 mrd
- Durée d'exposition de 100 s : champ de vision effectif de 11 mrd
- Durée d'exposition de 10 000 s : champ de vision effectif de 100 mrd

Les spectres sont mesurés à l'aide d'un spectroradiomètre à réseau. Les luminances sont mesurées à l'aide d'un vidéoluminancemètre (caméra photométrique étalonnée en luminance).

A partir des mesures de luminance effectuées dans ces différents champs de vision, la luminance pondérée L_B est calculée en utilisant le spectre d'action du risque rétinien photochimique $B(\lambda)$.

Les mesures permettent également d'obtenir la luminance visuelle (cd/m^2) et les paramètres colorimétriques des sources testées : température de couleur (CCT), coordonnées de chromaticités et longueur d'onde correspondant au maximum du spectre d'émission (longueur d'onde du pic d'émission).

6.1.1. Cas des projecteurs testés hors véhicule

Dans cette première partie, on s'intéresse aux différents modules de manière individuelle. Le but est ici de déterminer le groupe de risque d'un seul module d'éclairage. Le projecteur est pré-câblé et documenté par Valeo. Le CSTB procède à la connexion des différents fils à l'alimentation selon les instructions de Valeo. Le projecteur est alimenté en tension continue avec 13.5 V. En fonction du projecteur, il est possible que pour fonctionner dans un

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

mode particulier (croisement, route ou position), il soit nécessaire de câbler plusieurs modules d'éclairage. Dans ce cas, on dispose un filtre opaque noir devant les modules allumés qui ne sont pas testés.

On place le projecteur sur un support de mesure afin que celui-ci soit stable et de manière à ce que les équipements de mesure puissent être alignés correctement (hauteur, orientation, etc). On place la caméra photométrique approximativement en face du projecteur. On effectue une première visualisation avec la caméra afin de régler la distance de mesure. On fait ensuite fonctionner le phare afin de déterminer la zone d'intensité maximale à la distance considérée. On place le centre de l'objectif de la caméra à l'endroit du maximum. En position éteinte, on affine la mise au point sur le module à tester et on effectue les réglages de la caméra. Ensuite, on alimente le projecteur et on règle les temps d'exposition de la caméra. Il est possible que la luminance soit trop importante pour la caméra. Dans ce cas, on place un filtre de densité neutre de transmission 3% devant la caméra. Une fois toutes ces étapes réalisées, on effectue la mesure. Avec le logiciel ProMetric, on relève les luminances pour les différents diamètres de champ de vision correspondant aux limites des groupes de risques. On mesure ensuite le spectre de la source avec un spectroradiomètre muni d'une tête d'éclairage. On saisit ensuite les valeurs mesurées dans une feuille de calcul permettant d'obtenir les valeurs de la luminance pondérée L_B selon les différents champs de vision et le groupe de risque photobiologique.

6.1.2.Cas des projecteurs testés sur véhicules

Pour ces véhicules, on ne teste que le feu DRL. Pour fonctionner, les véhicules nécessitent que le moteur ait été démarré. Dans le cas du véhicule hybride, n'ayant pas la possibilité de forcer son mode d'alimentation, celle-ci était en mode électrique ou en mode thermique. Le comodo donnant la consigne d'allumage des phares était en position en zéro.

Les mesures ont été réalisées dans le hall H2 du CSTB à la tombée de la nuit, vers 17h30 (heure d'hiver). Les appareils de mesure ont été déplacés du laboratoire pour être installés dans ce hall. On place la caméra approximativement en face d'un des deux projecteurs. On effectue une première visualisation avec la caméra afin de régler la distance de mesure. On fait ensuite fonctionner le phare afin de déterminer la zone maximum d'éclairage à la distance considérée. On place le centre de l'objectif de la caméra au même endroit. En position éteinte, on affine la mise au point et on effectue les réglages de la caméra. On démarre le véhicule et on règle ensuite le temps d'exposition. Une fois toutes ces étapes réalisées, on effectue la mesure. Avec le logiciel Prometric, on relève les luminances pour les différents diamètres de champ de vision nécessaires. On mesure ensuite le spectre de la source avec un spectroradiomètre muni d'une tête d'éclairage. On saisit ensuite les valeurs mesurées dans une feuille de calcul permettant d'obtenir les valeurs de la luminance pondérée L_B selon les différents champs de vision et le groupe de risque photobiologique.

6.2.Résultats de mesures pour le projecteur 1 : Citroën DS3

Par soucis de compréhension, on utilisera les dénominations suivantes :

- Le module DRL de type LED est un projecteur séparé, non intégré dans le projecteur principal.
- Le module 1 correspond au feu de type xénon en mode croisement et route.
- Le module 2 correspond aux trois sous-modules identiques de type LED permettant les modes position et route. Seule le sous-module central est testé pour ce feu.

6.2.1.Module 1 en réglage feu de croisement

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 30 233 000 cd/m².

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

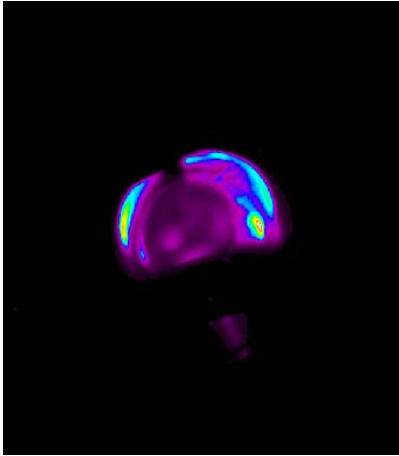


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

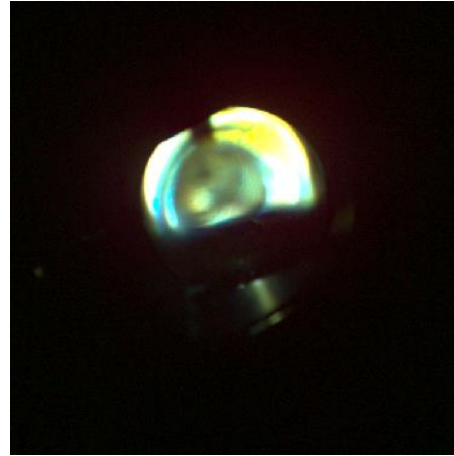
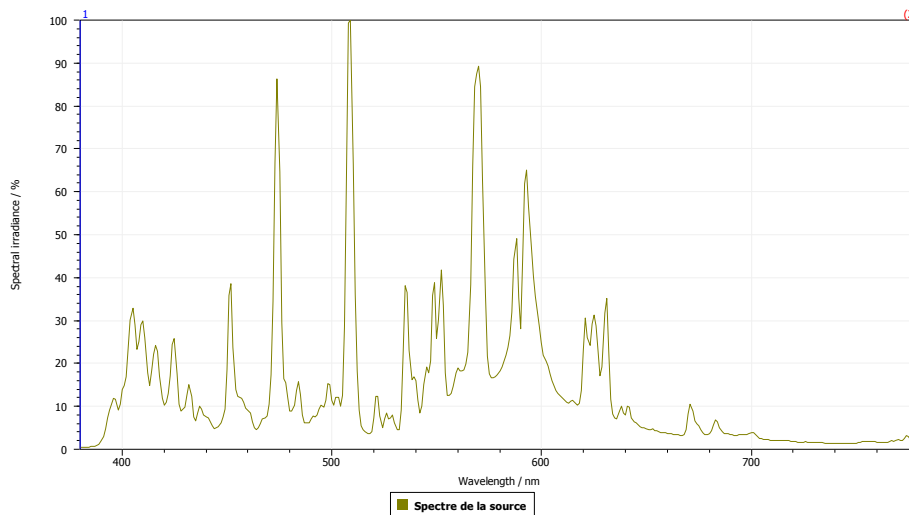


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est représenté dans la figure suivante.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4329 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3720
- coordonnée de chromaticité y : 0.3914
- longueur d'onde pic : 509 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.18. (18% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant.

Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	7 391	16 470	17 033

Tableau récapitulatif de l'évaluation du feu de croisement (module 1) de la Citroën DS3 (technologie Xénon) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

6.2.2. Module 1 en réglage route

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 86 830 000 cd/m².

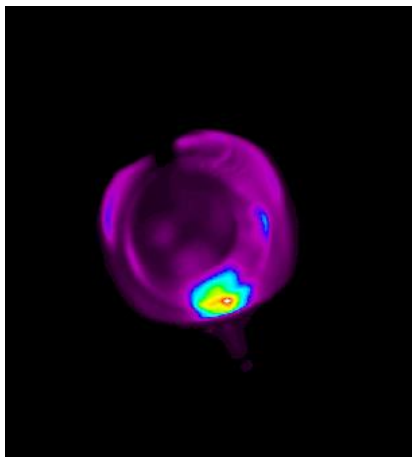


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

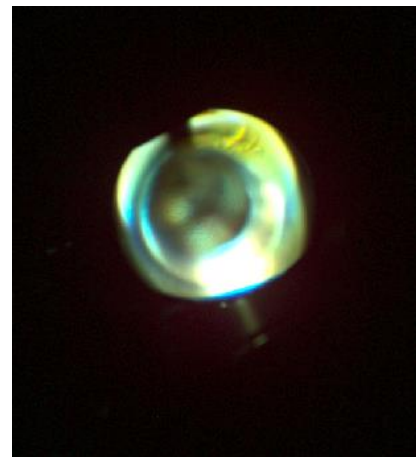


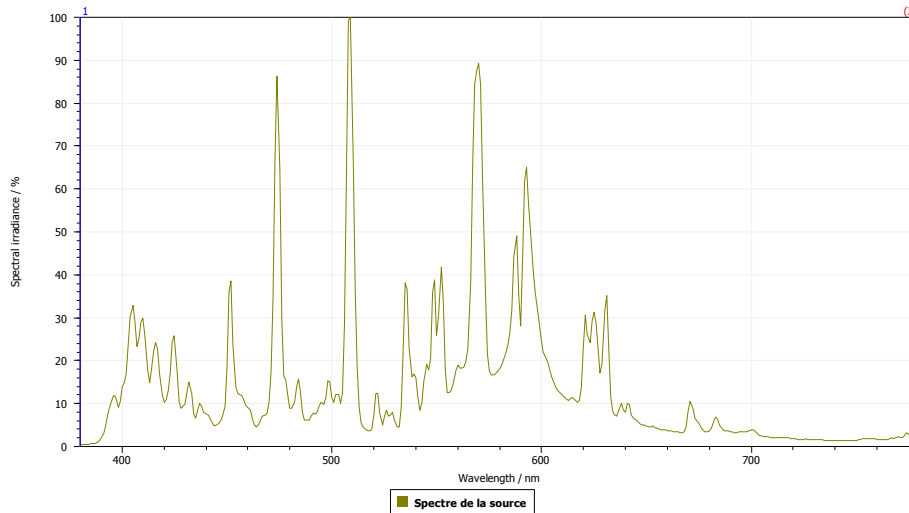
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le même que pour le mode croisement (voir la figure suivante).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4329 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3720
- coordonnée de chromaticité y : 0.3914
- longueur d'onde pic : 509 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.18. (18% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	21 839	47 560	48 919

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 1 en réglage feu de route de la Citroën DS3 (technologie Xénon) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

6.2.3. Module 2 en réglage position

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 265 700 cd/m².

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

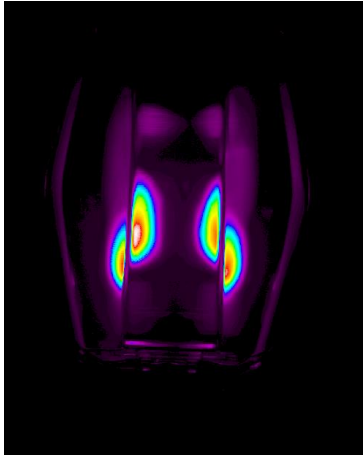


Image en fausses couleurs (échelle de luminance étalonnées)

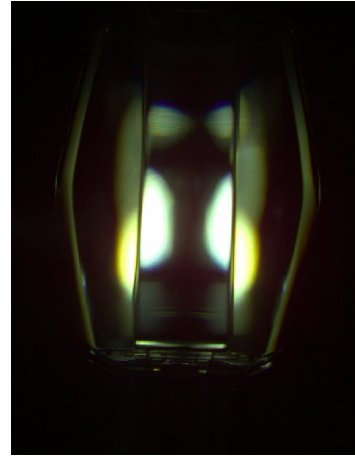
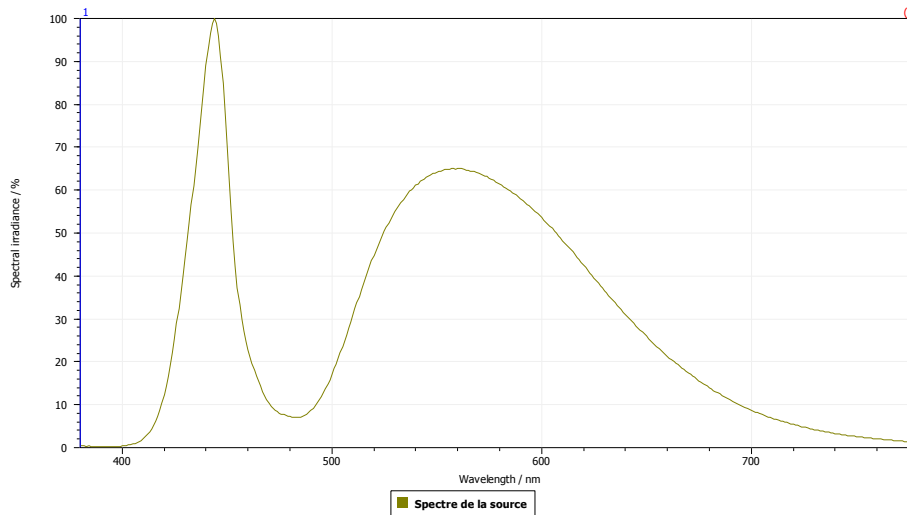


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4795 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3520
- coordonnée de chromaticité y : 0.3637
- longueur d'onde pic : 444 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.22. (22% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 0, soit sans risque.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	26	161	177

Tableau récapitulatif de l'évaluation du feu de position de la Citroën DS3 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 0 (sans risque)

6.2.4. Module 2 en réglage route

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 11 190 000 cd/m².

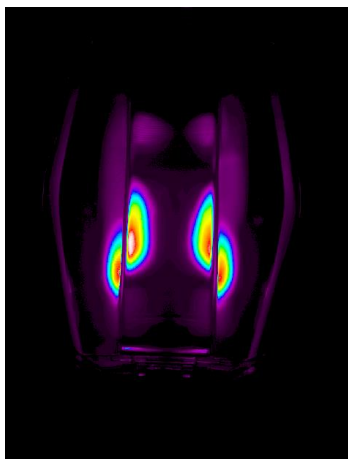


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

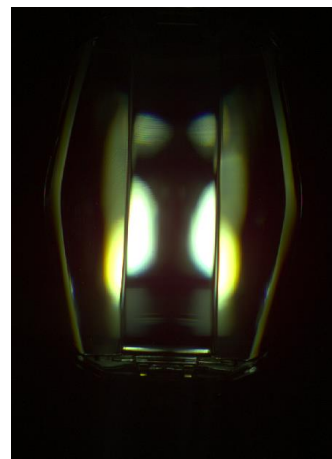


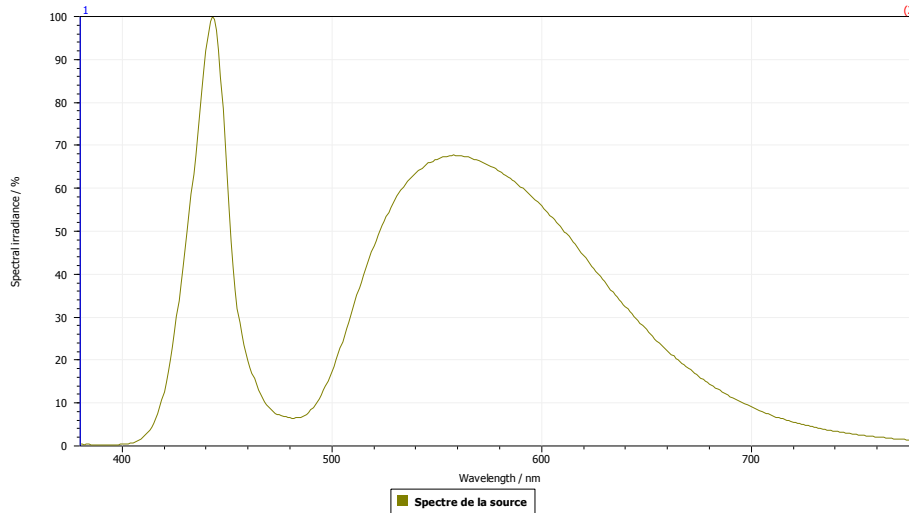
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4665 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3570
- coordonnée de chromaticité y : 0.3713
- longueur d'onde pic : 443 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.21. (21% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit un risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	993	6 194	6 992

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 2 en réglage feu de route de la Citroën DS3 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.2.5. Module DRL

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 16 285 000 cd/m². Ce module comprend 6 sous-modules LED identiques. Un seul module a été traité, le 3^{ème} en partant du haut.

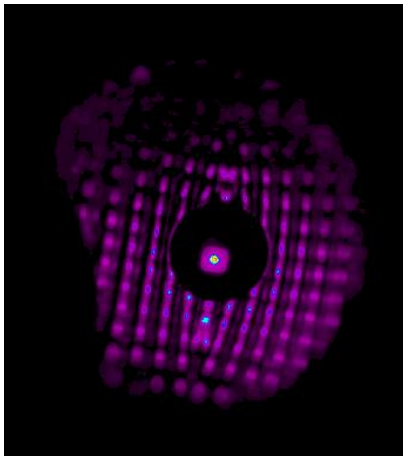


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

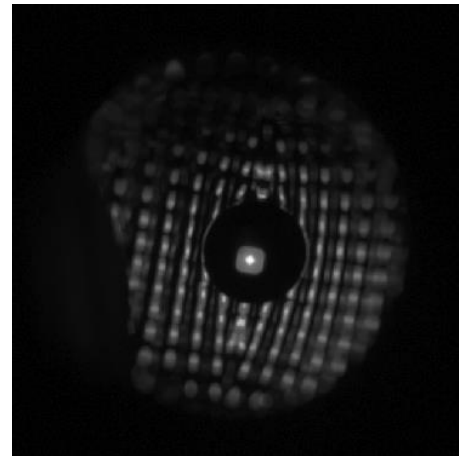
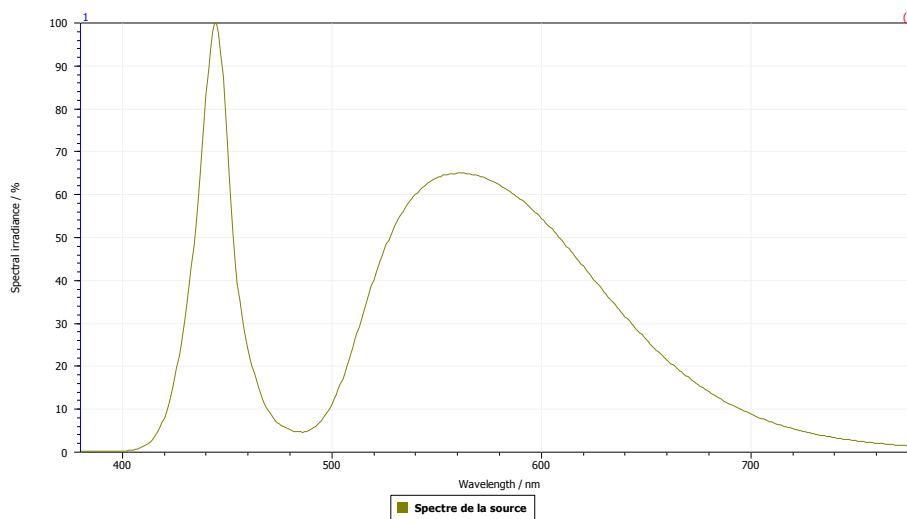


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4507 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3614
- coordonnée de chromaticité y : 0.3680

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- longueur d'onde pic : 444 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.21. (21% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit un risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	424	4 629	9 985

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module DRL de la Citroën DS3 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

6.3. Résultats de mesures pour le projecteur 2 : Peugeot 208

Par soucis de compréhension, on utilisera les dénominations suivantes :

- Le module 1 correspond au feu de route de type halogène.
- Le module 2 correspond au feu de croisement de type halogène.
- Le module 3 correspond au feu DRL et de position. Seule la partie centrale sera analysée. Le guide de lumière ne sera pas traité car bien trop peu lumineux par rapport à la partie supérieure.

6.3.1. Module 1 (feu de route)

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 24 443 300 cd/m².

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

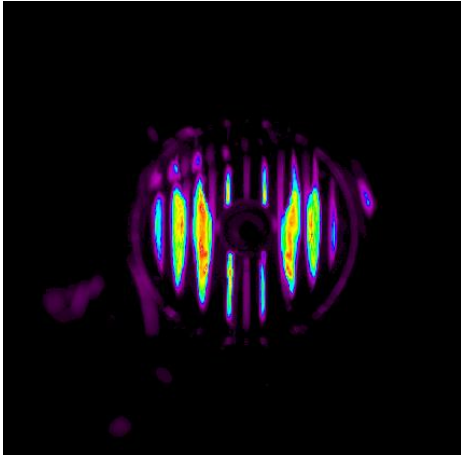


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

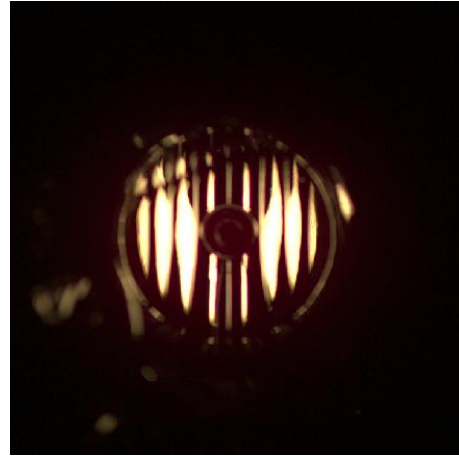
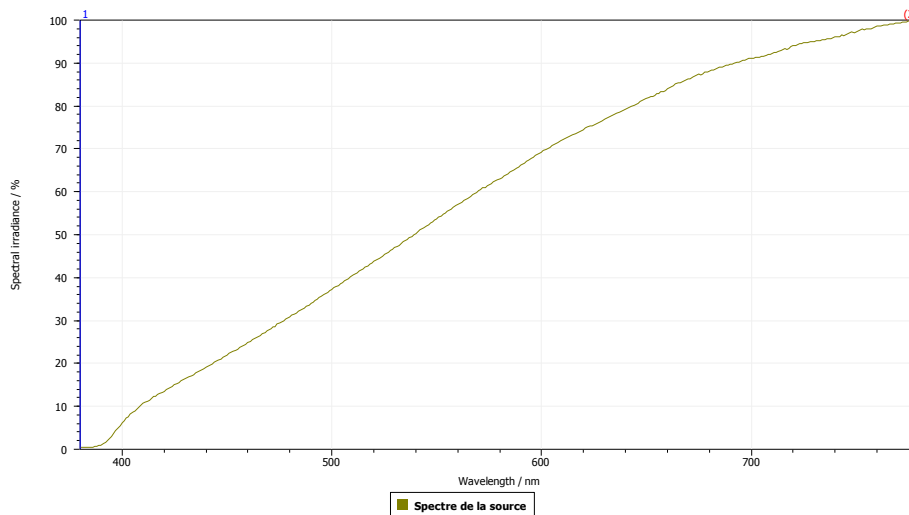


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 3148 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.4286
- coordonnée de chromaticité y : 0.4045
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.06. (6% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	5 671	8 068	8 649

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 1 (feu de route) de la Peugeot 208 (technologie halogène) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

6.3.2. Module 2 (feu de croisement)

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 21 323 400 cd/m².

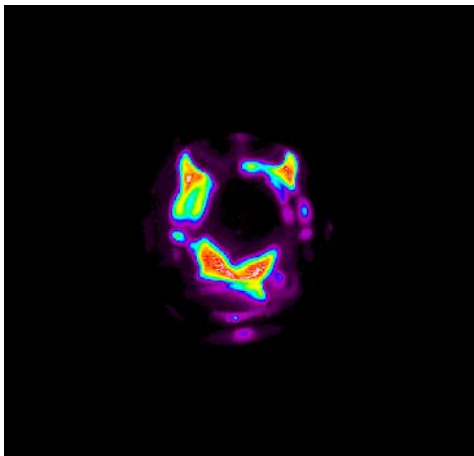


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

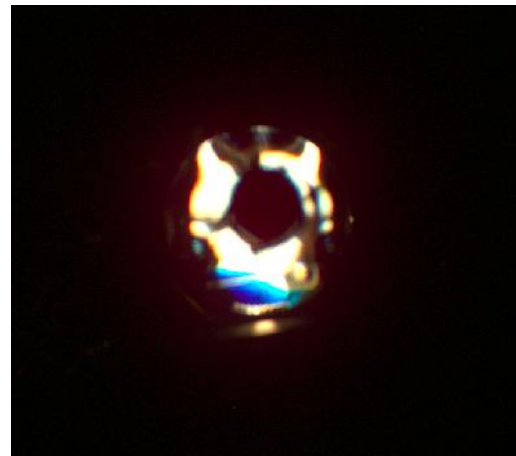


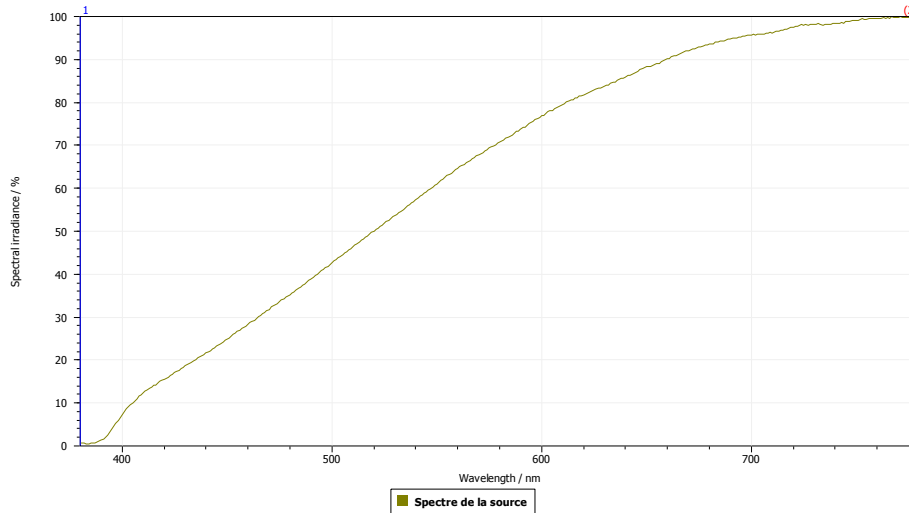
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 3229 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.4247
- coordonnée de chromaticité y : 0.4056
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.07. (7% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	4 719	7 412	7 656

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 2 (feu de croisement) de la Peugeot 208 (technologie halogène) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

6.3.3. Module 3 en mode position

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

une luminance maximale de 346 330 cd/m². Comme indiqué plus haut, le guide de lumière n'est pas traité car bien trop peu lumineux avec seulement une dizaine de millier de cd/m² maximum. En revanche l'image montre très bien l'aspect homogène du guide par rapport à la partie supérieure.

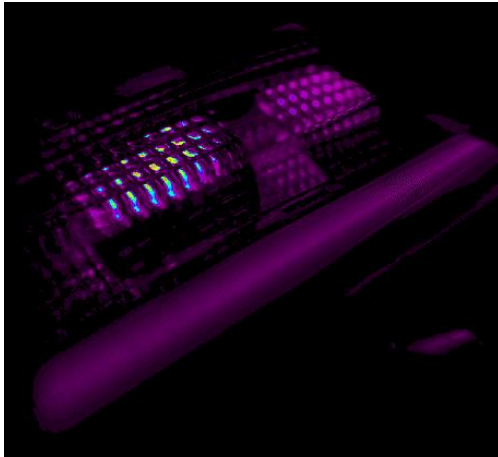


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

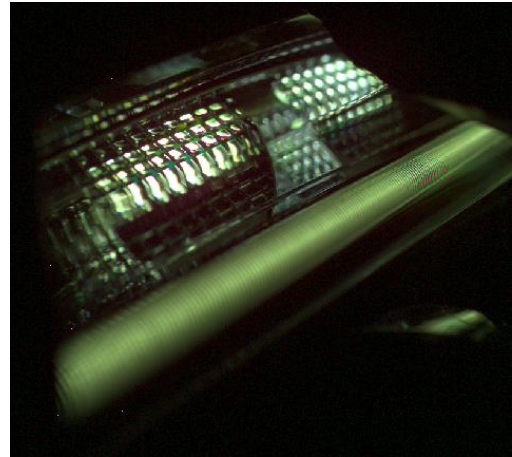
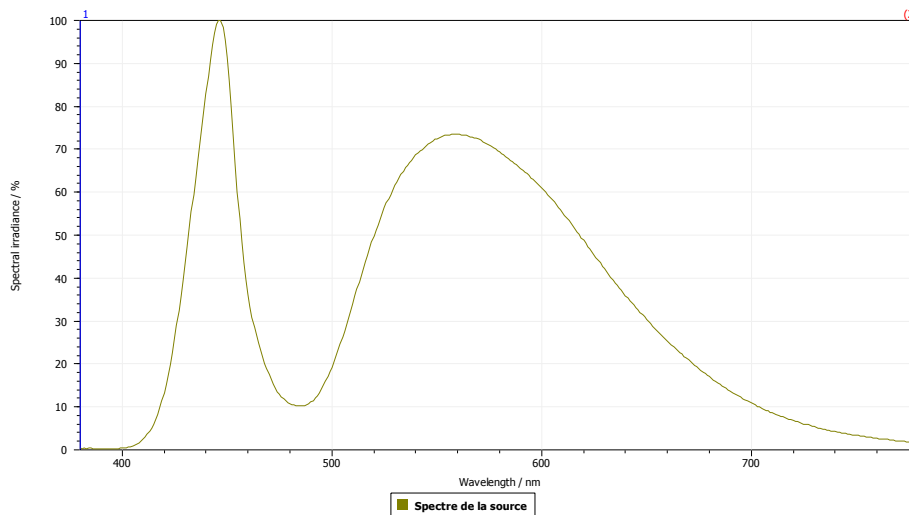


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4806 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3515
- coordonnée de chromaticité y : 0.3620
- longueur d'onde pic : 446 nm

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.22. (22% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 0, soit sans risque.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	26	63	223

Tableau récapitulatif de l'évaluation du feu de position de la Peugeot 208 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 0 (sans risque)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.3.4. Module 3 en mode DRL

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 8 341 500 cd/m². Comme indiqué plus haut, le guide de lumière n'est pas traité car bien trop peu lumineux. Cela se confirme très aisément car le guide disparaît complètement de l'image en luminance.

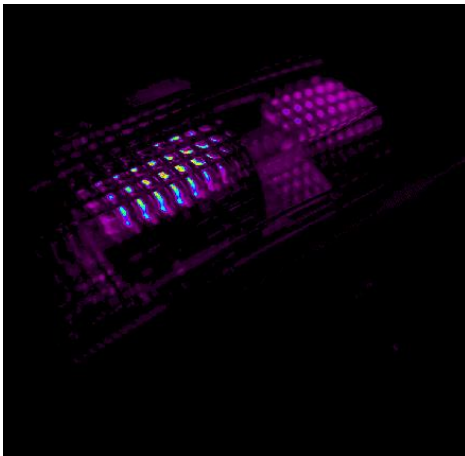


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

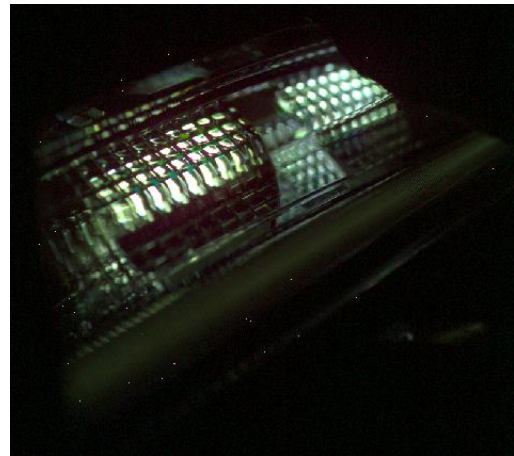


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

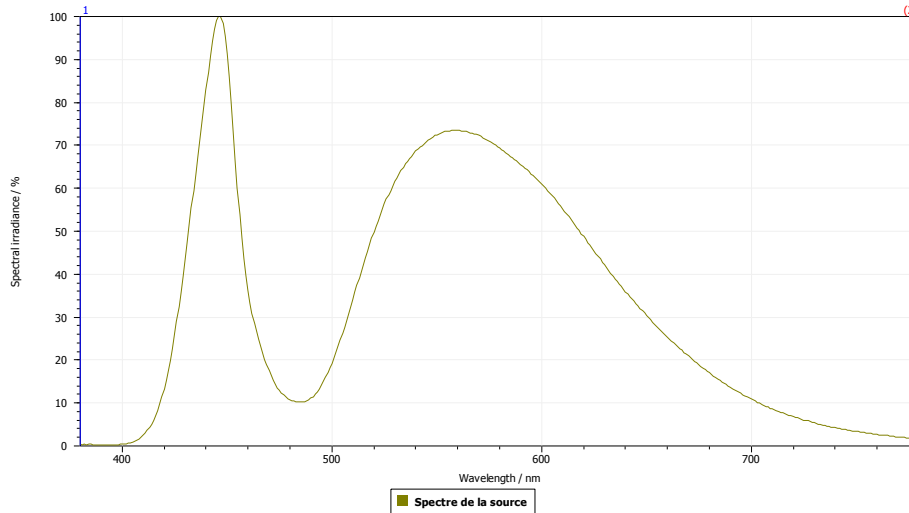
Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre utilisé pour le traitement est le même que celui mesuré en mode feu de position. Les caractéristiques calculées à partir du spectre sont identiques :

- température de couleur de 4806 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3515
- coordonnée de chromaticité y : 0.3620
- longueur d'onde pic : 446 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.22. (22% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	278	1 436	5 382

Tableau récapitulatif de l'évaluation du DRL de la Peugeot 208 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

6.4. Résultats de mesures pour le projecteur 3 : Peugeot 3008

Par soucis de compréhension, on utilisera les dénominations suivantes :

- Le module 1 correspond au module 'kink' de type LED. Il est analysé en mode croisement et route.
- Le module 2 correspond au module 'flat' de type LED. Il est lui aussi analysé en mode croisement et route.
- Le module 3 correspond au feu DRL de type LED et de position.

6.4.1. Module 1 ('kink') en mode feu de croisement

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 49 604 300 cd/m².

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

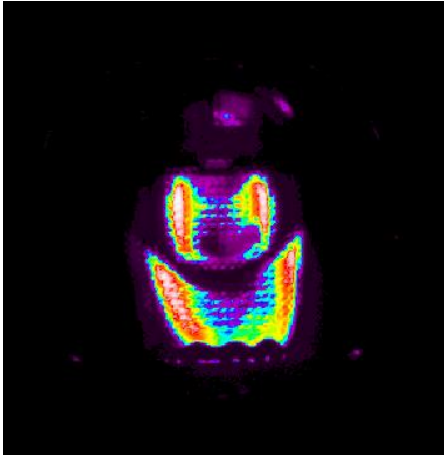


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

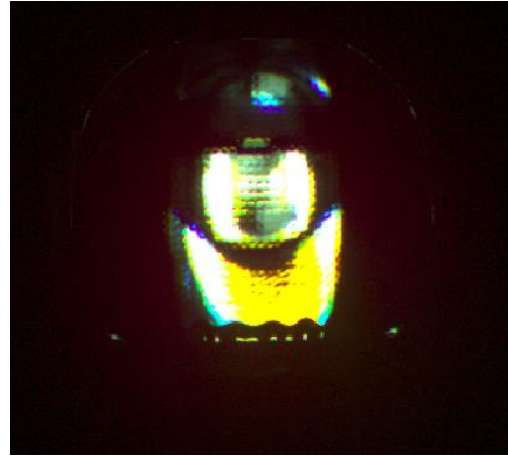
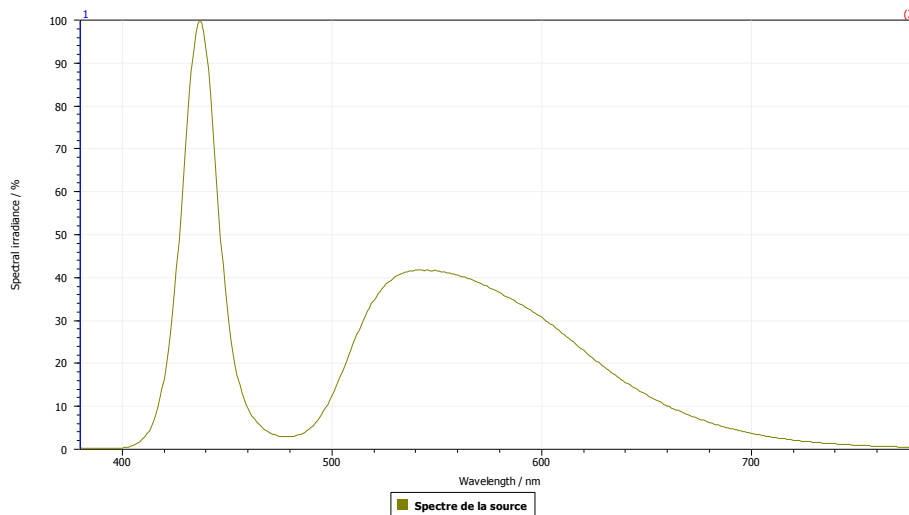


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 6163 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3188
- coordonnée de chromaticité y : 0.3323
- longueur d'onde pic : 437 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.30. (30% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	22 001	46 534	47 169

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 1 'kink' en feu de croisement de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

6.4.2. Module 1 ('kink') en mode feu de route

Les quatre images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante.

Avec ce module, il n'est pas possible à courte distance d'avoir un seul maximum de luminance. En effet, le faisceau est double : il comprend deux maxima. L'image de gauche montre la partie gauche du faisceau, l'image de droite, la partie droite du faisceau. L'acquisition donne des luminances maximales respectives de 47 484 800 cd/m² et 46 485 700 cd/m².

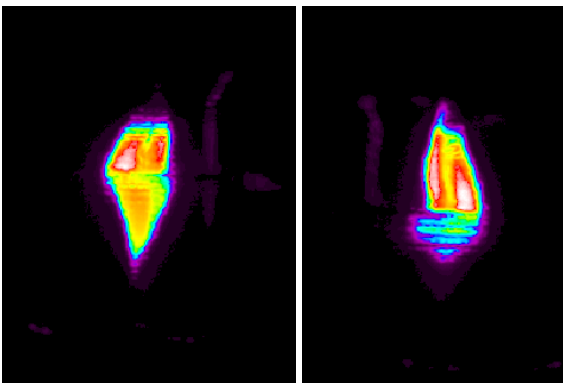


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

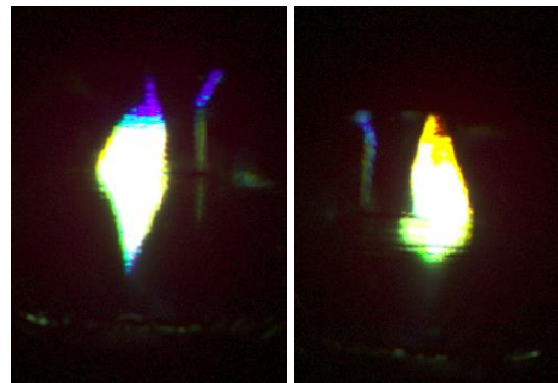


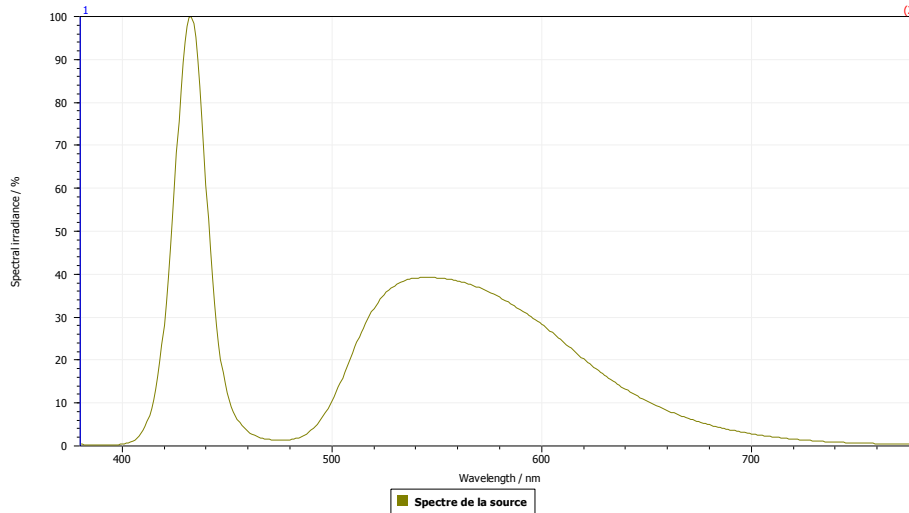
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 6163 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3270
- coordonnée de chromaticité y : 0.3492
- longueur d'onde pic : 432.5 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.30. (30% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	22 265	42 866	43 647

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 1 'kink' en feu de route de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.4.3. Module 2 ('flat') en mode feu de croisement

Avec ce module, il n'est pas possible à courte distance d'avoir un seul maximum de luminance. En effet, le faisceau est double : il comprend deux maxima. L'image de gauche montre la partie gauche du faisceau, l'image de droite, la partie droite du faisceau.

Les quatre images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne des luminances maximales respectives de 47 341 700 cd/m² et 47 918 900 cd/m².

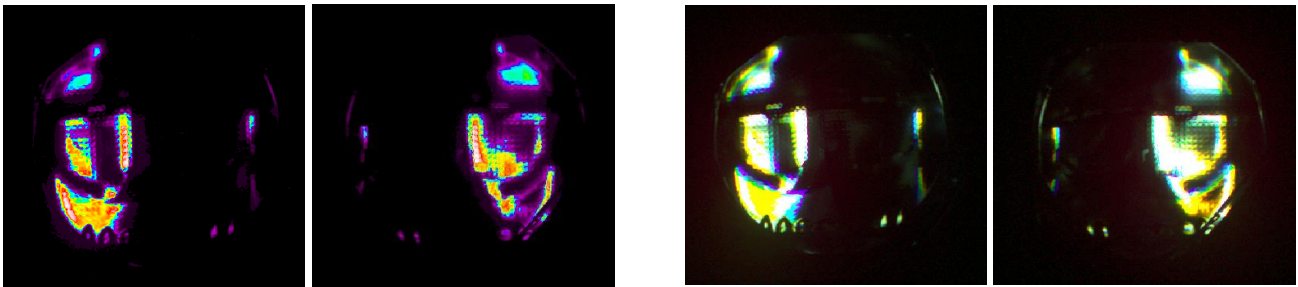


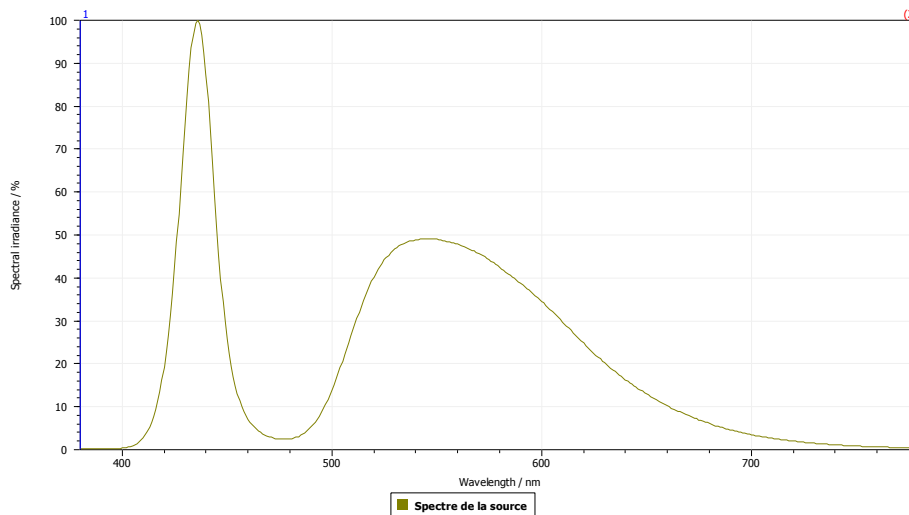
Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5666 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3283
- coordonnée de chromaticité y : 0.3589
- longueur d'onde pic : 436 nm

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.27. (27% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	13 647	36 819	38 232

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 2 'flat' en feu de croisement de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

6.4.4. Module 2 ('flat') en mode feu route

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 48 214 200 cd/m².

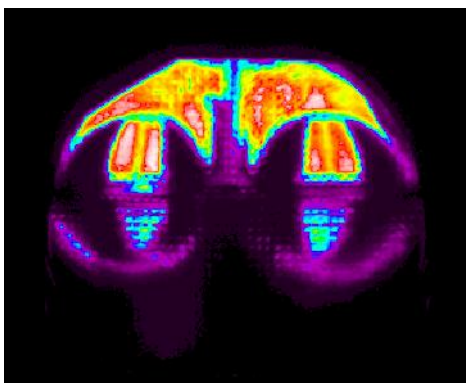


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

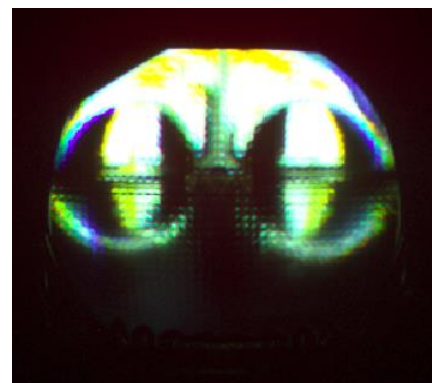


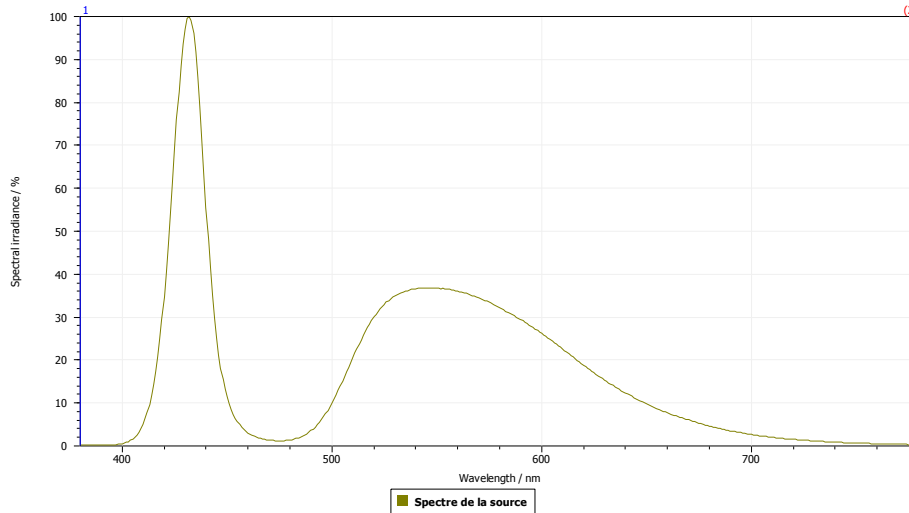
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5937 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3228
- coordonnée de chromaticité y : 0.3417
- longueur d'onde pic : 436 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.32. (32% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	28 397	47 302	48 115

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 2 'flat' en feu de route de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (risque modéré)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.4.5. Module 3 en mode feu de position

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 252 000 cd/m².

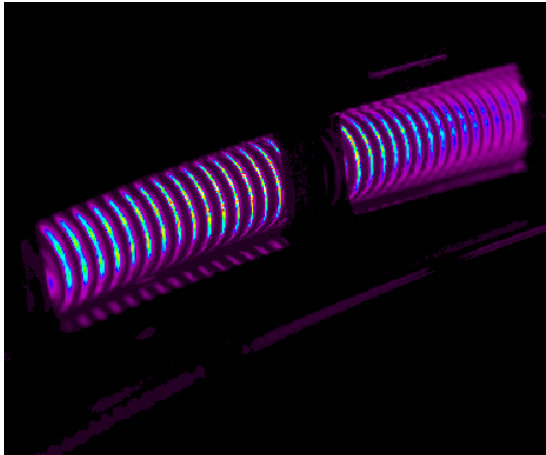


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

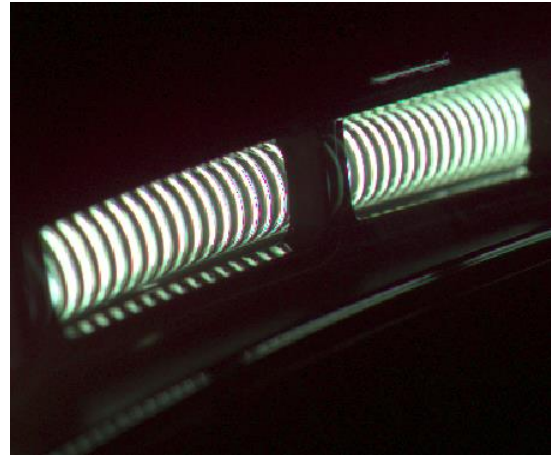
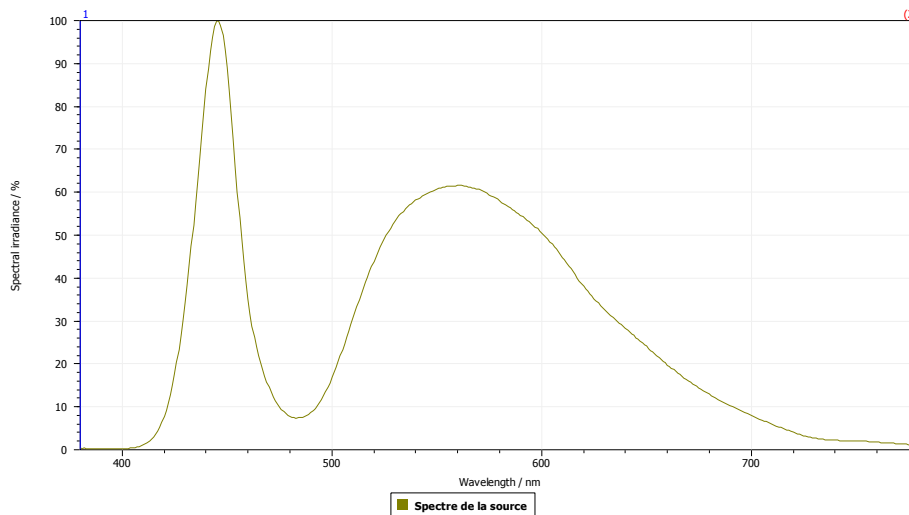


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5188 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3402
- coordonnée de chromaticité y : 0.3502
- longueur d'onde pic : 445.5 nm

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.24. (24% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 0, soit sans risque.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	12	44	184

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 3 en feu de position de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 0 (sans risque)

6.4.6. Module 3 en mode DRL

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 2 300 000 cd/m².

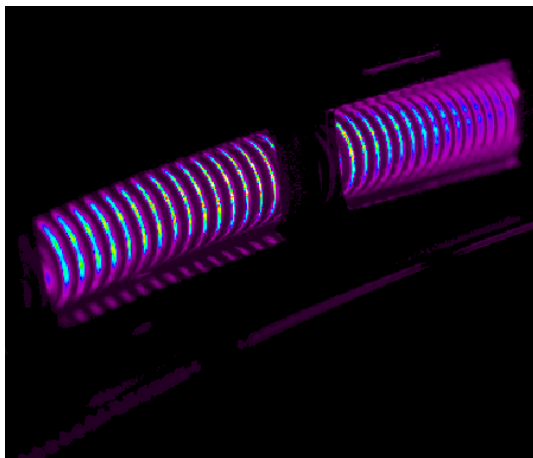


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

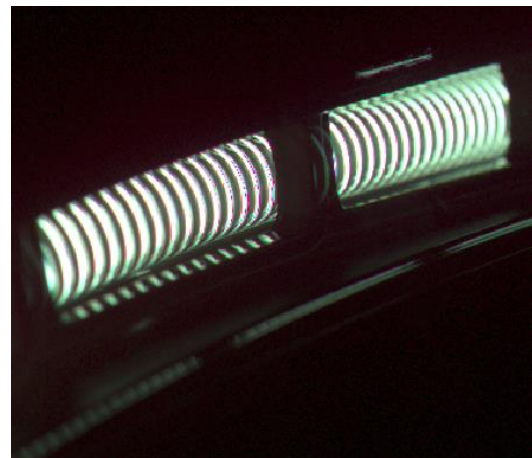


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

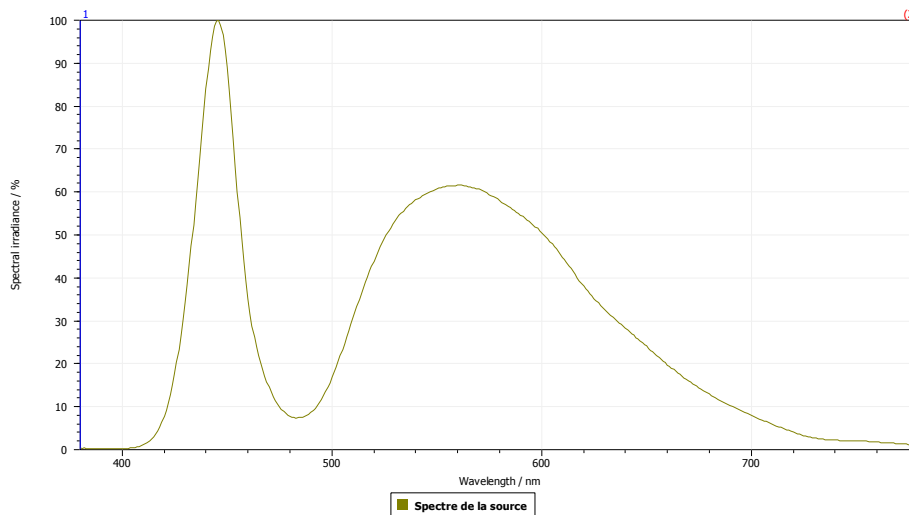
Echelle des fausses couleurs (min au max)



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Le spectre utilisé pour le traitement est le même que pour le mode position. Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont identiques :

- température de couleur de 5188 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3402
- coordonnée de chromaticité y : 0.3502
- longueur d'onde pic : 445.5 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.24. (24% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014



Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	109	401	1 678

Tableau récapitulatif de l'évaluation du module 3 en mode DRL de la Peugeot 3008 (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (sans risque)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.5. Résultats de mesures pour le projecteur 4 : Renault Espace

Par soucis de compréhension, on utilisera les dénominations suivantes :

- Le module 1 correspond au feu de route de type LED
- Le module 2 correspond au feu de croisement de type LED
- Le module 3 correspond au DRL et au feu de position de type LED

6.5.1. Module 1 (feu de route)

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 56 666 700 cd/m².

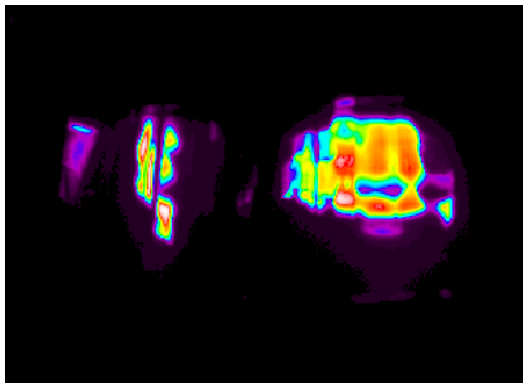


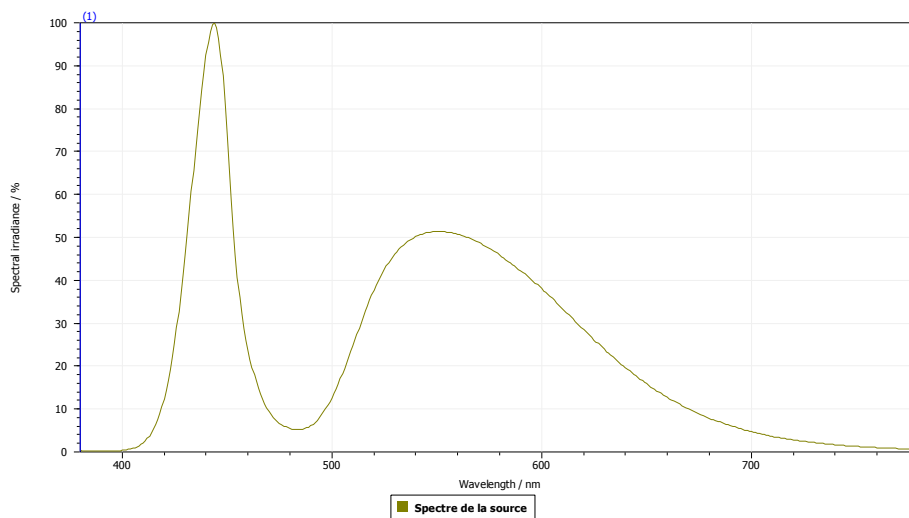
Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5950 K

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- coordonnée de chromaticité x : 0.3230
- coordonnée de chromaticité y : 0.3334
- longueur d'onde pic : 443.5 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.28. (28% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	30 936	48 745	49 859

Tableau récapitulatif de l'évaluation du feu de route de la Renault Espace (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (sans modéré)

6.5.2. Module 2 (feu de croisement)

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 29 486 700 cd/m².

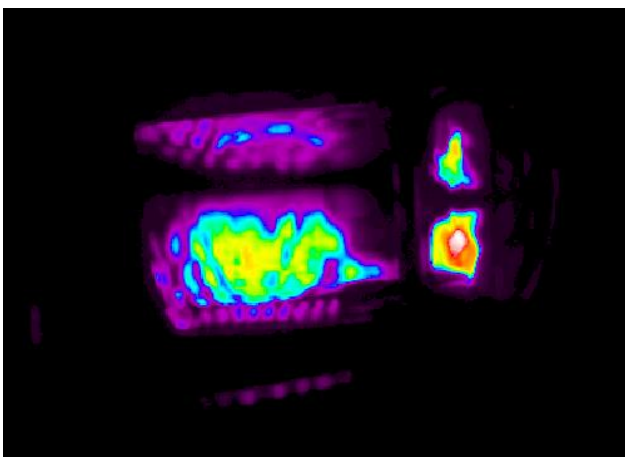


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

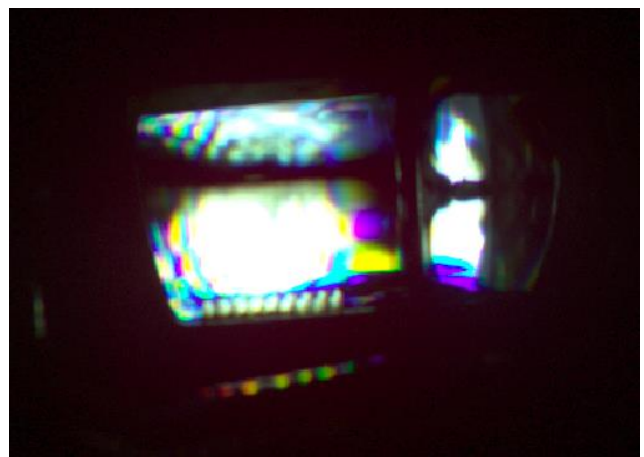


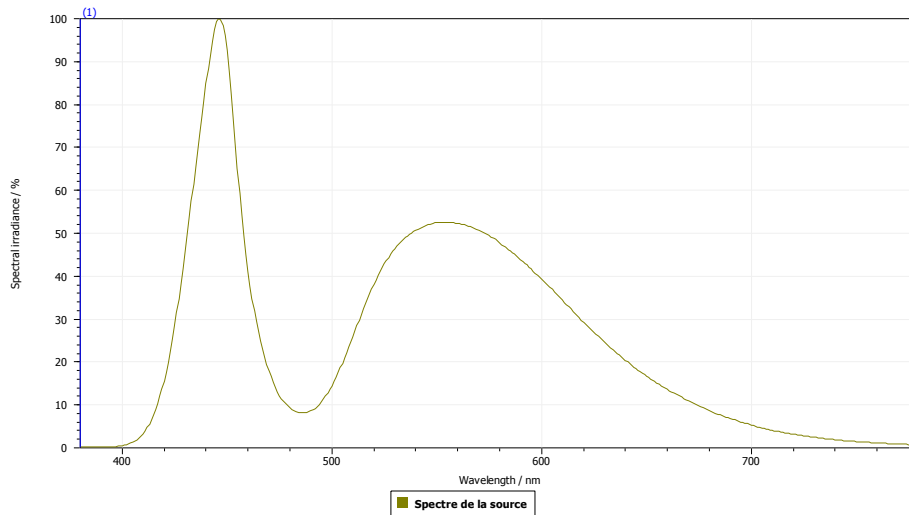
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 6471 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3147
- coordonnée de chromaticité y : 0.3193
- longueur d'onde pic : 446 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.30. (30% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 2, soit en risque modéré.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	14 979	28 191	28 484

Tableau récapitulatif de l'évaluation du feu de croisement de la Renault Espace (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 2 (sans modéré)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.5.3. Module 3 (DRL)

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 2 427 500 cd/m². Remarque concernant cette mesure. Il faut prendre beaucoup de précaution sur l'analyse et le traitement à partir de ces images car l'optique du DRL est très profonde. On ne peut donc pas faire la mise au point sur l'ensemble de cette optique. L'image est donc floue sur les extrémités ce qui peut conduire à une sous-estimation de la mesure de luminance.

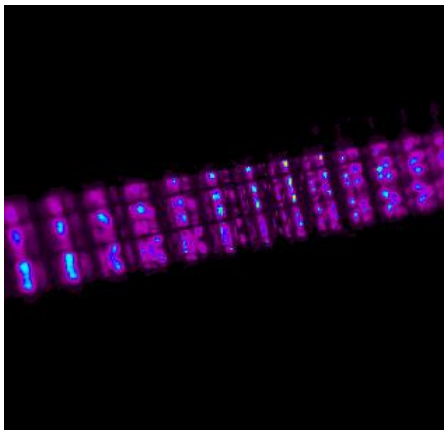


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

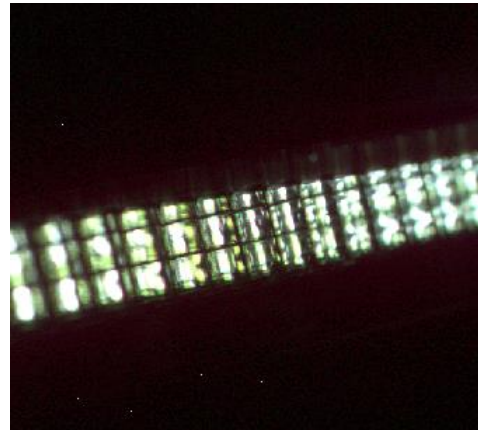
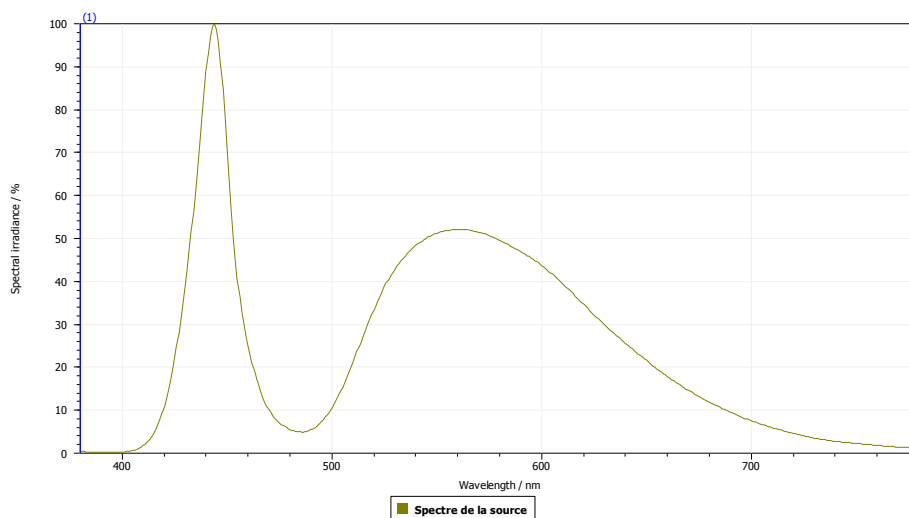


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- température de couleur de 5076 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3420
- coordonnée de chromaticité y : 0.3369
- longueur d'onde pic : 444 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.26. (26% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 0, soit sans risque.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	99	459	1 960

Tableau récapitulatif de l'évaluation du DRL de la Renault Espace (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 0 (sans risque)

6.6. Résultats de mesures pour le module DRL de la Toyota Auris Hybride

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 7 395 300 cd/m².

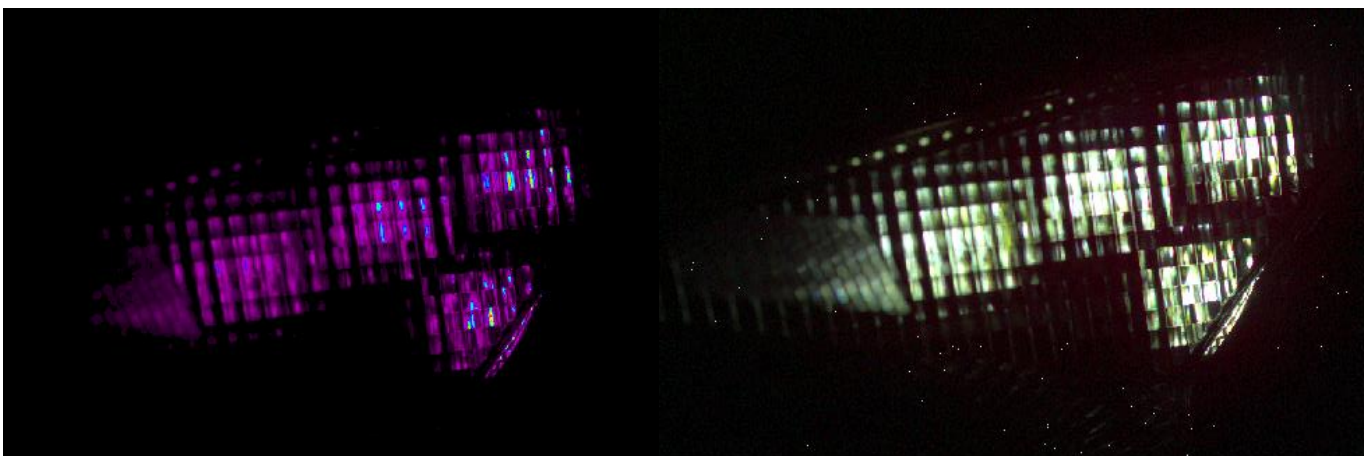


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

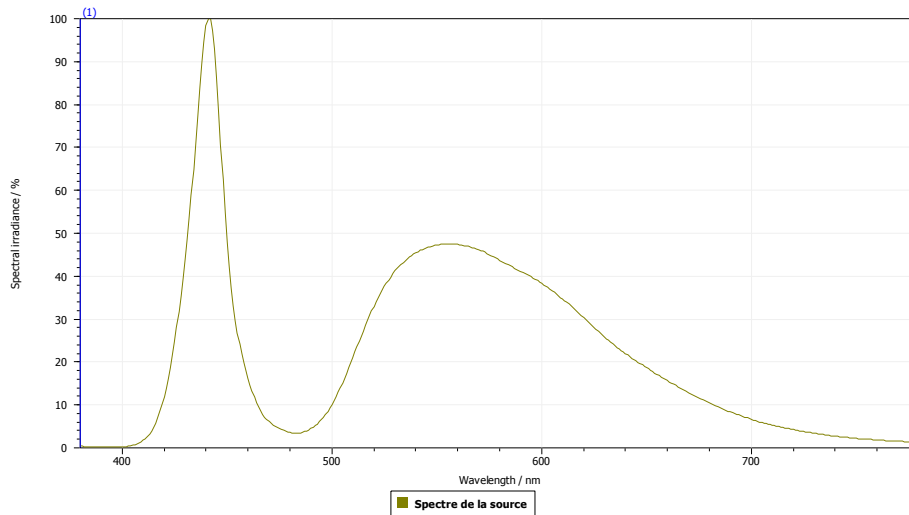
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5242 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3383
- coordonnée de chromaticité y : 0.3396
- longueur d'onde pic : 441 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.26. (26% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	283	2 665	6 026

Tableau récapitulatif de l'évaluation du DRL de la Toyota Auris hybride (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.7. Résultats de mesures pour le module DRL de la Peugeot 508 SW

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 4 199 000 cd/m².

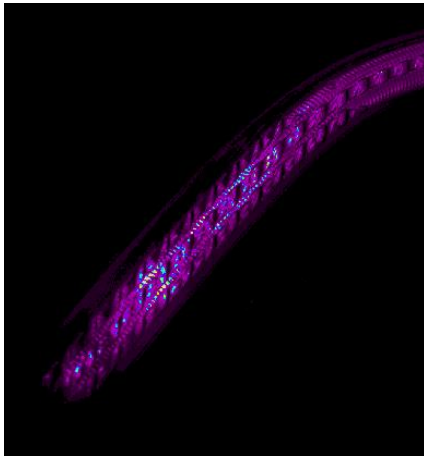


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

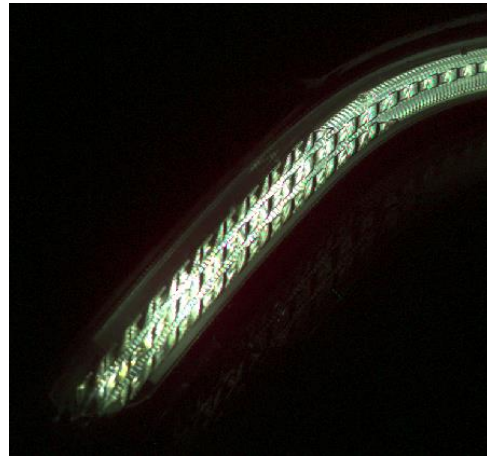
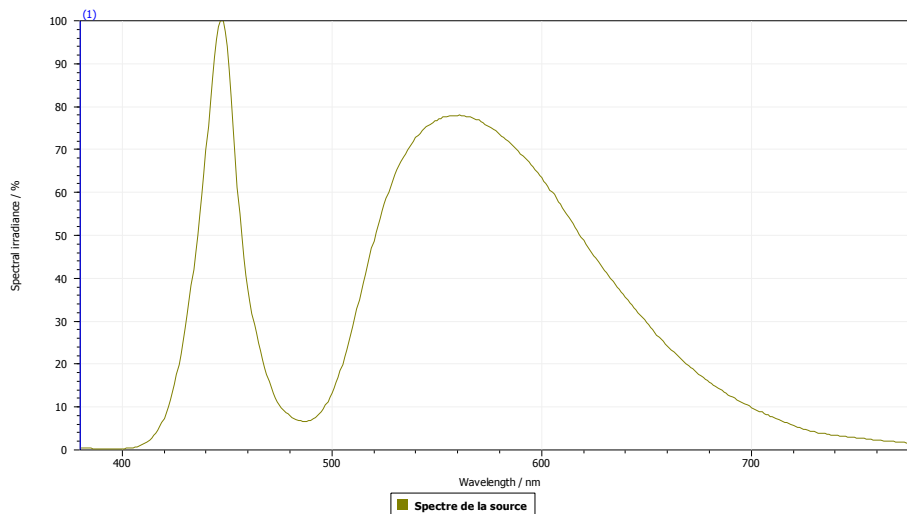


Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 4549 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.3618
- coordonnée de chromaticité y : 0.3781
- longueur d'onde pic : 447 nm

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.19. (19% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 1, soit en risque faible.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m ² /sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m ² /sr)	229	996	2 370

Tableau récapitulatif de l'évaluation du DRL de la Peugeot 508 SW (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 1 (risque faible)

6.8. Résultats de mesures pour le module DRL de la Peugeot 508 RXH

Les deux images ci-dessous proviennent de l'acquisition effectuée par le vidéoluminancemètre. L'une est en vraies couleurs, l'autre en fausses couleurs de luminance avec l'échelle de niveau correspondante. L'acquisition donne une luminance maximale de 2 737 000 cd/m².

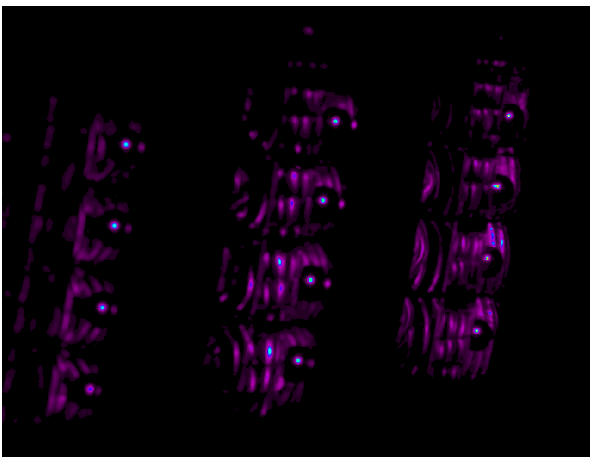


Image en fausses couleurs (échelle de luminance)

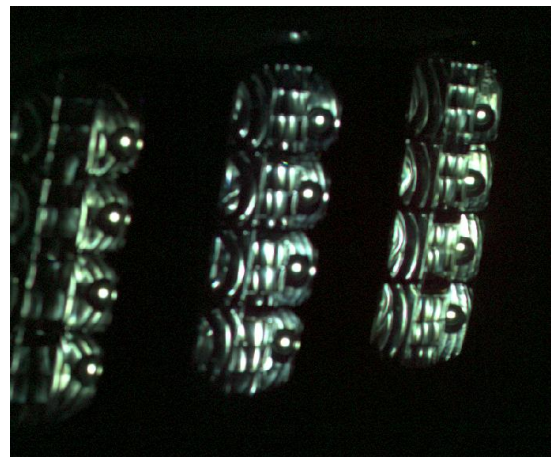


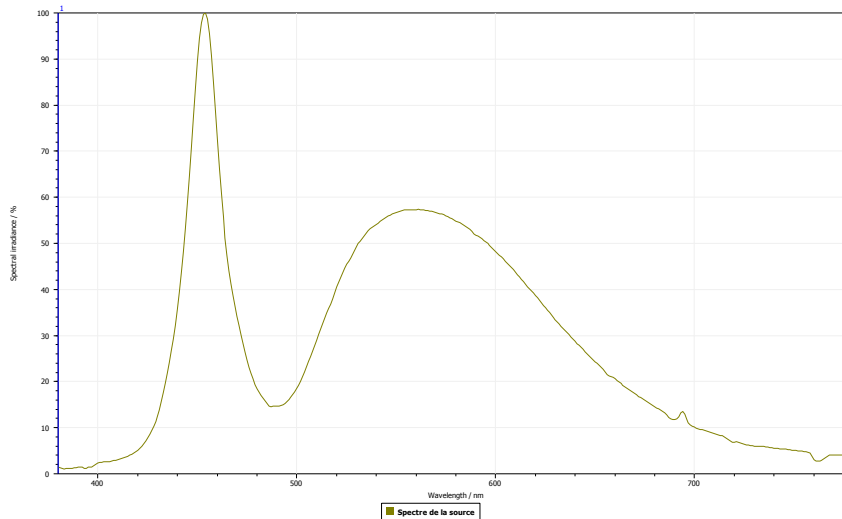
Image en vraies couleurs (non étalonnées)

Echelle des fausses couleurs (min au max)



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Le spectre mesuré est le suivant.



Les paramètres calculés à partir de ce spectre sont les suivants :

- température de couleur de 5265 K
- coordonnée de chromaticité x : 0.0.3383
- coordonnée de chromaticité y : 0.3496
- longueur d'onde pic : 454 nm
- Efficacité de rayonnement pour le risque de la lumière bleue est de 0.22. (22% de l'énergie des radiations optiques émises contribue au risque photobiologique de la lumière bleue). Ce paramètre est défini dans la note technique CIE TN 002 :2014

Après traitement de ces éléments, on obtient le tableau suivant. Dans ce mode de fonctionnement, la source est en groupe de risque 0, soit sans risque.

Limite entre groupes de risque	RG0 / RG1	RG1 / RG2	RG2 / RG3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0.25
Angle de mesure (rd)	0.1	0.011	0,0017
Valeur limite d'exposition en terme de luminance pondérée (W/m²/sr)	100	10 000	4 000 000
Luminance pondérée à 200 mm (W/m²/sr)	81	703	1 916

Tableau récapitulatif de l'évaluation du DRL de la Peugeot 508 RXH (technologie LED) selon la norme NF EN 62471 : groupe de risque 0 (sans risque)

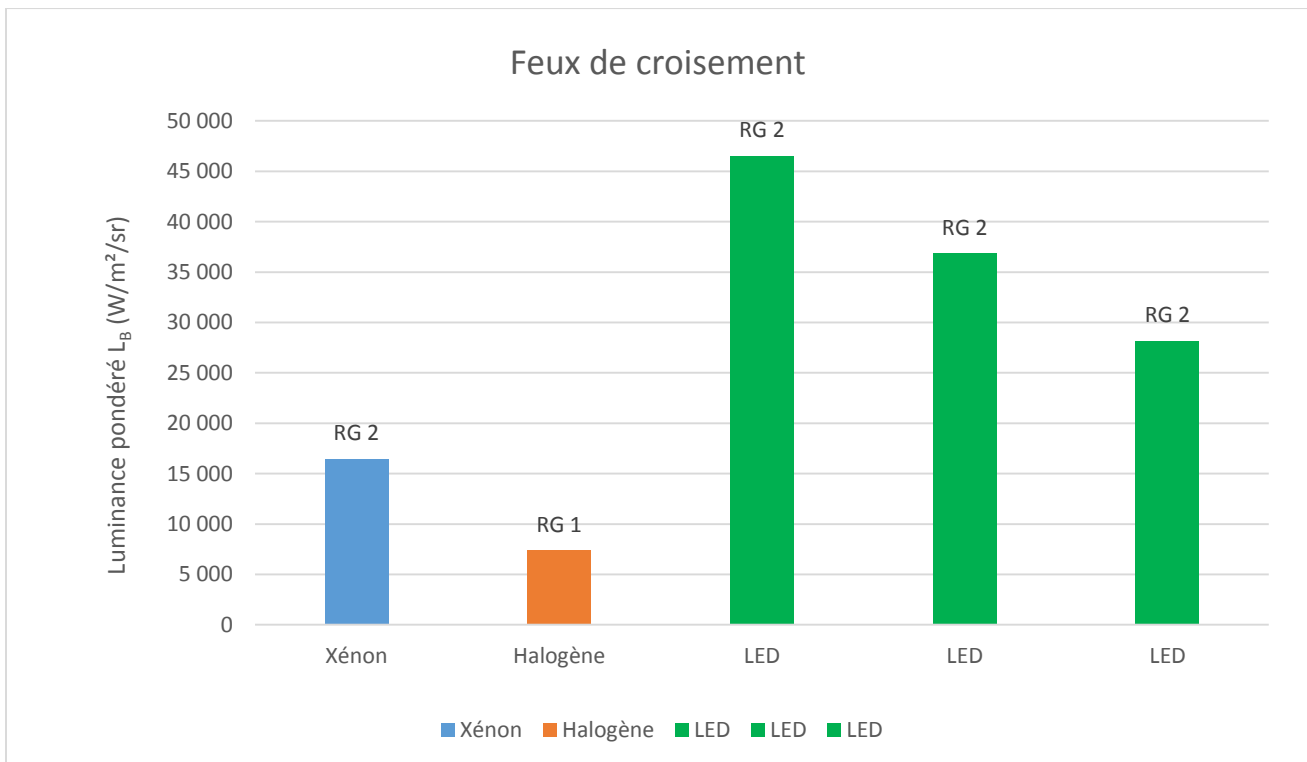
CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

6.9. Récapitulatif de l'évaluation du groupe de risque photobiologique

Les tableaux suivants récapitulent les mesures obtenues, en séparant les feux de croisement des feux de routes et des feux DRL.

6.9.1. Feux de croisement

Véhicule	Feu	Techno	T. de couleur (K)	Luminance maximale (cd/m ²)	Luminance pondérée L _B (dans 11 mrd à 200 mm) (W/m ² /sr)	Groupe de risque
Citroën DS3	Module 1 Croisement	Xénon	4329	30 233 000	16 470	2
Peugeot 208	Croisement	Halogène	3229	21 323 400	7 412	1
Peugeot 3008	Croisement 'kink'	LED	6163	49 604 300	46 534	2
	Croisement 'flat'	LED	5666	47 918 900	36 819	2
Renault Espace	Croisement	LED	6471	29 486 700	28 191	2



On constate que les feux de croisement à LED testés sont tous en groupe de risque 2 (risque modéré).

Les luminances pondérées dans le bleu des feux de croisement LED sont 4 à 6 fois plus élevées que celle du feu de croisement halogène.

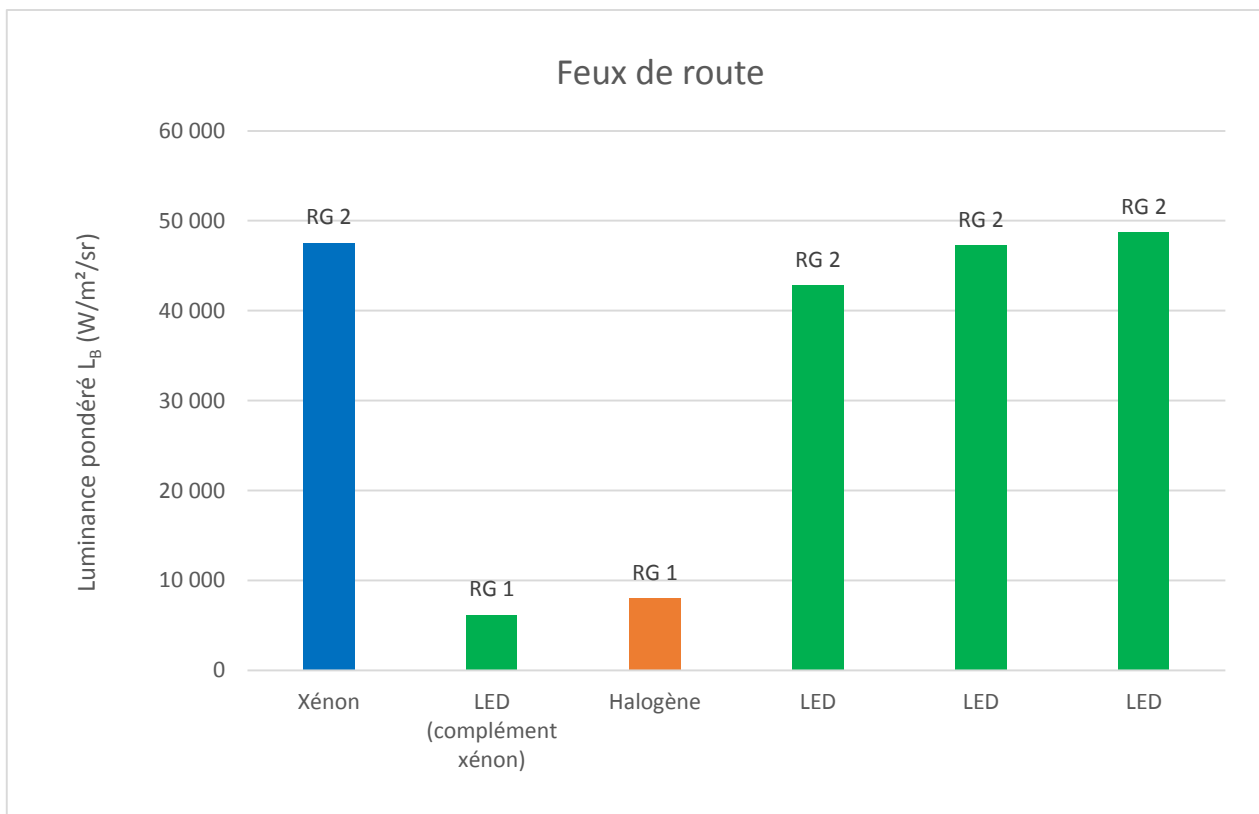
CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

Le feu de type xénon testé a une luminance pondérée dans le bleu environ deux fois plus élevée que celle du feu de croisement halogène. Il est également classé en groupe de risque 2 (risque modéré).

Seul le feu de croisement halogène est classé en groupe de risque 1 (risque faible).

6.9.2. Feux de route

Véhicule	Feu	Techno	T. de couleur (K)	Luminance maximale (cd/m ²)	Luminance pondérée L _B (dans 11 mrd à 200 mm) (W/m ² /sr)	Groupe de risque
Citroën DS3	Module 1 Route	Xénon	4329	86 830 000	47 560	2
	Module 2 Route	LED (complément xénon)	4665	11 190 000	6 194	1
Peugeot 208	Route	Halogène	3148	24 443 300	8 068	1
Peugeot 3008	Route 'kink'	LED	6163	47 484 800	42 866	2
	Route 'flat'	LED	5937	48 214 200	47 302	2
Renault Espace	Route	LED	5950	56 666 700	48 745	2



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

A l'exception du feu LED fonctionnant en complément du feu au xénon, les feux de route de type xénon et LED testés sont tous classés en groupe de risque 2 (risque modéré).

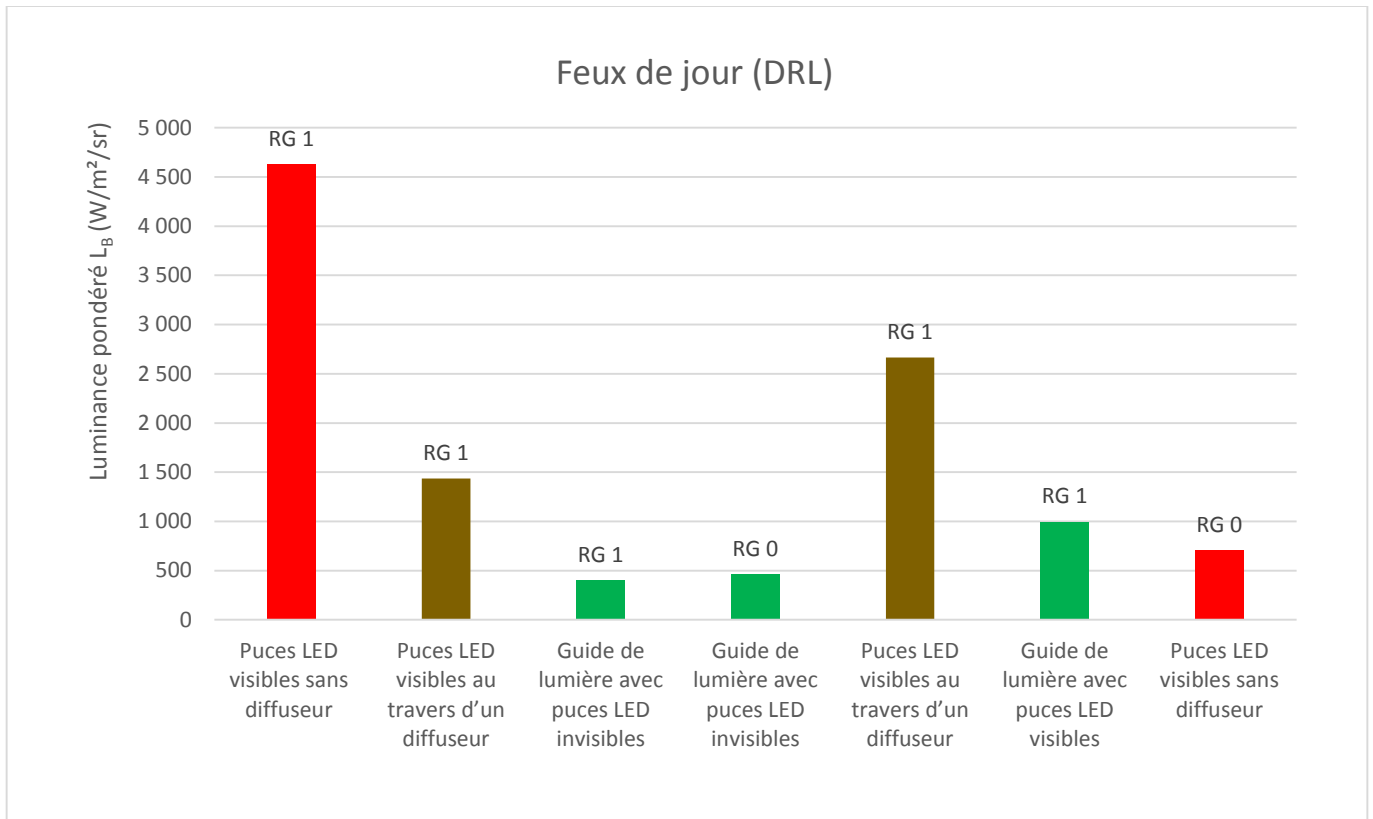
Les luminances pondérées dans le bleu des feux de route xénon et LED ont des niveaux semblables, environ 5 fois plus élevés que celle du feu halogène testé.

Seul le feu de route halogène est classé en groupe de risque 1 (risque faible).

6.9.3. Feux DRL et feux de position

Véhicule	Feu	Techno	T. de couleur (K)	Luminance maximale (cd/m ²)	Luminance pondérée L _B (dans 11 mrd à 200 mm) (W/m ² /sr)	Groupe de risque
Citroën DS3	Position	Guide de lumière avec puces LED invisibles (faible luminance, esthétique) associé aux puces LED des modules route à faible luminance	4795	265 700	161	0
	DRL	Puces LED visibles sans diffuseur	4507	16 285 000	4 629	1
Peugeot 208	Position	Guide de lumière avec puces LED invisibles (faible luminance, esthétique) associé à	4806	346 330	63	0
	DRL	Puces LED visibles au travers d'un diffuseur	4806	8 341 500	1 436	1
Peugeot 3008	Position	Guide de lumière avec puces LED invisibles	5188	252 000	44	0
	DRL	Guide de lumière avec puces LED invisibles	5188	2 300 000	401	1
Renault Espace	DRL	Guide de lumière avec puces LED invisibles	5076	2 427 500	459	0
Toyota Auris	DRL	Puces LED visibles au travers d'un diffuseur	5242	7 395 300	2 665	1
Peugeot 508 SW	DRL	Guide de lumière avec puces LED invisibles	4549	4 199 000	996	1
Peugeot 508 RXH	DRL	Puces LED visibles sans diffuseur	5265	2 737 000	703	0

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Les groupes de risque photobiologique mesurés sur les DRL testés sont 0 (sans risque) et 1 (risque faible).

Le niveau de luminance le plus élevé correspond à un DRL ayant des LED dont les puces sont directement visibles par l'observateur.

Le niveau de luminance le plus faible correspond également à un DRL utilisant ce principe, mais avec des niveaux d'intensité inférieurs.

Les dernières générations de DRL sont conçues avec un guide de lumière qui évite la vision directe des LED. Les luminances sont plus faibles que celles des DRL conçus avec des LED visibles (visibles directement ou au travers d'un élément optique diffusant).

Les feux de position testés sont tous classés en groupe de risque 0 (sans risque).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile**7. PARTIE 2 : Durées limites d'exposition des piétons en fonction de l'âge, de la distance et de l'inclinaison du véhicule**

Cette deuxième partie consiste à étudier l'exposition des piétons à la lumière visible émise par les feux automobiles dans des configurations réelles en fonction de l'âge de l'observateur et de la distance d'observation.

Dans chaque cas, l'automobile et le piéton sont considérés tous les deux comme étant immobiles.

Les recommandations de l'ICNIRP sont utilisées. Elles définissent les valeurs limites d'exposition ainsi que les méthodes de calcul permettant d'évaluer cette exposition.

On utilise les données mesurées en Partie 1 que l'on associe avec un calcul géométrique consistant à déterminer le point d'intersection entre la direction du maximum de luminance d'un feu et la direction de regard d'un observateur dont l'âge est compris entre 2 ans et l'âge adulte. La détermination du point d'intersection se fait en considérant plusieurs inclinaisons, normales et anormales de l'éclairage du véhicule :

- pas d'inclinaison (véhicule à plat, condition de référence des règlements UNECE),
- plusieurs inclinaisons correspondant à un observateur exposé au feu d'un véhicule situé sur une pente montante ou bien à un observateur exposé à un feu émettant anormalement vers le haut (pas de correction d'assiette, ou mauvaise correction, lorsque le coffre est chargé).

7.1. Données anthropométriques utilisées

Pour définir la hauteur de l'observateur et la hauteur de regard associée, des données anthropométriques sont requises pour définir la taille moyenne d'une personne entre l'âge de 2 ans (âge considéré comme minimal pour marcher debout) et l'âge l'adulte.

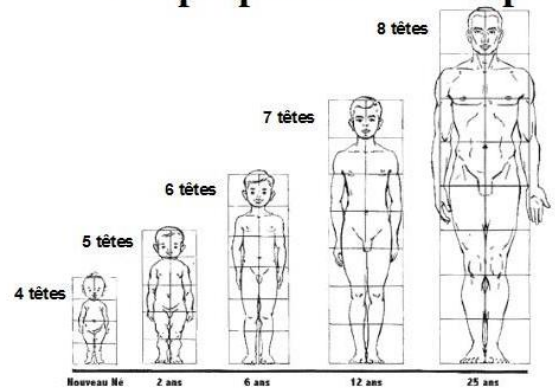
Pour déterminer la taille moyenne, on utilise les données françaises du ministère de la santé qui sont présentées dans les carnets de santé des enfants en France. Les tailles des garçons et des filles ont été moyennées.

Pour déterminer la hauteur de regard, il est nécessaire d'estimer la hauteur moyenne des yeux à partir de la taille. Pour cela, un schéma classique des proportions entre la taille et la dimension de la tête est utilisé (voir figure ci-dessous). Une loi de puissance est déterminée pour estimer à partir de ce schéma, le ratio entre la hauteur des yeux et la taille : $\text{ratio} = 0.8902 \times \text{âge}^{0.0164}$.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

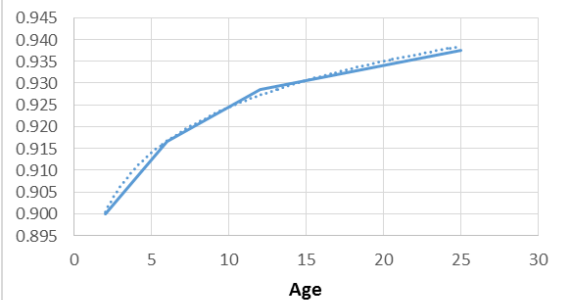
Age (année)	Taille moyenne (cm)	Ratio hauteur yeux/taille	Hauteur des yeux moyenne en position debout (cm)
1	74	0.890	66
2	85	0.900	77
3	95	0.906	86
4	101	0.911	92
5	107	0.914	97
6	113	0.917	104
7	119	0.919	109
8	125	0.921	115
9	129	0.923	119
10	134	0.924	124
11	139	0.926	129
12	148	0.927	137
13	153	0.928	142
14	158	0.930	147
15	164	0.931	153
16	168	0.932	157
17	171	0.933	159
18	172	0.933	161

Les proportions du corps



Les proportions du corps varie selon l'âge.

$y = 0.8902x^{0.0164}$ Ratio Hauteur yeux / Taille



CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.2. Données de hauteur des projecteurs

On utilise les données techniques fournies par Valeo pour définir la hauteur du centre du feu considéré par rapport au sol.

Véhicule	Référence du module	Hauteur du centre du feu par rapport au sol
Citroën DS3	Module 1 Xénon	764.5 mm
	Module 2	749.2 mm
	Module DRL	490 mm
Peugeot 208	Module 1 (route)	737.5 mm
	Module 2 (croisement)	699.5 mm
	Module 3 (DRL)	821.1 mm
Peugeot 3008	Module 1 (kink)	881.7 mm
	Module 2 (flat)	827.2 mm
	Module 3 (DRL)	897.6 mm
Renault Espace	Module 1 (route)	886.5 mm
	Module 2 (croisement)	873.7 mm
	Module 3 (DRL)	878.5 mm
Toyota Auris	Module DRL	690 mm*
Peugeot 508 SW	Module DRL	380 mm*
Peugeot 508 RXH	Module DRL	520 mm*

Les valeurs avec une étoile sont des cotes mesurées directement sur le véhicule, au centre du projecteur.

7.3. Données concernant la direction du maximum d'intensité des feux

On utilise le règlement UNECE R112 dont les quatre schémas ci-dessous sont extraits. Ce règlement donne selon différentes directions, les niveaux d'intensité lumineuse minimum ou maximum requises. En particulier, on peut y relever les positions du maximum d'intensité lumineuse, qui correspond aux mesures effectuées dans la Partie 1 de ce rapport.

Pour le feu de croisement, le maximum se situe entre les points R50 et R75 dont les angles de déclinaison respectifs sont de 0.86° vers le bas et de 0.57° vers le bas par rapport à la route. On considère donc que le maximum d'intensité du feu de croisement est orienté de 0.7° vers le bas.

Pour le feu de route et le DRL, les directions d'intensité maximale sont parallèles à la route (0° de déclinaison).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

«6.2.4 Le faisceau de croisement doit produire un flux correspondant aux intensités lumineuses ci-après aux points d'essai indiqués dans les tableaux ci-après et à l'annexe 3, figure B (ou aux points symétriquement réfléchis par rapport à l'axe VV pour la circulation à gauche):

Désignation du point d'essai	Coordonnées angulaires (degrés) du point d'essai	Projecteur de la classe A		Projecteur de la classe B	
		Intensité lumineuse requise (cd)		Intensité lumineuse requise (cd)	
		Max	Min	Max	Min
Projecteurs conçus pour la circulation à droite **					
B 50 L	0,57 U, 3,43 L	350		350	
BR	1,0 U, 2,5 R	1 750		1 750	
75 R	0,57 D, 1,15 R		5 100		10 100
75 L	0,57 D, 3,43 L	10 600		10 600	
50 L	0,86 D, 3,43 L	13 200		13 200	
50 R	0,86 D, 1,15 R		5 100		10 100
50 V	0,86 D, 0				5 100
25 L	1,72 D, 9,0 L		1 250		1 700
25 R	1,72 D, 9,0 R		1 250		1 700
Tout point de la zone III (délimitée par les coordonnées suivantes, en degrés)					
8 L	8 R	8 R	8 R	6 R	1,5 R
V-V	4 L				
1 U	4 U	4 U	2 U	1,5 U	1,5 U
H-H	H-H	H-H	H-H		
Tout point de la zone IV (0,86 D à 1,72 D, 5,15 L à 5,15 R)					
Tout point de la zone I (1,72 D à 4 D, 9 L à 9 R)					
		17 600		< 21*	

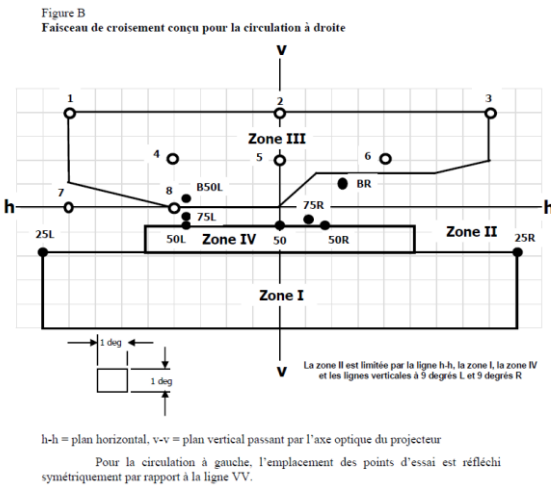
«6.3.3 S'agissant de la figure C de l'annexe 3 et du tableau ci-dessous, la répartition de l'intensité lumineuse du faisceau de route doit satisfaire aux prescriptions suivantes:

Point d'essai	Coordonnées angulaires (degrés)	Projecteur de classe A	Projecteur de classe B
		Intensité lumineuse requise (cd)	Intensité lumineuse requise (cd)
		Min	Min
I _{max}		27 000	40 500
H-5 L	0, 5,0 L	3 400	5 100
H-2,5 L	0, 2,5 L	13 500	20 300
H-2,5 R	0, 2,5 R	12 500	20 300
H-5 R	0, 5,0 R	3 400	5 100

E/CE/324/Rev.2/Add.111/Rev.2/Amend.1
E/CE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.2/Amend.1

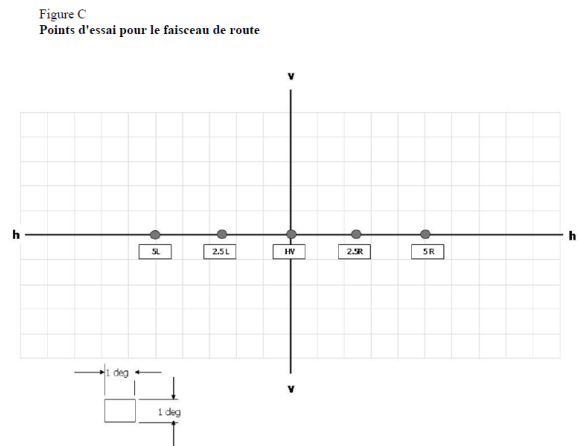
- 6.3.3.1 Le point HV d'intersection des lignes hh et vv doit se trouver à l'intérieur de l'isolux 80 % de l'intensité lumineuse maximale (I_{max}).
- 6.3.3.2 La valeur maximale (I₉₀) ne doit en aucun cas être supérieure à 215 000 cd.

Table concernant le feu de croisement



Mire du feu de croisement

Table concernant le feu de route



Mire du feu de route

Selon les règles d'allumage du règlement UNECE R48, l'allumage simultané du feu de croisement ou du feu de route avec le DRL est interdit. Il n'y a donc pas de configuration « feu de croisement + DRL » ou bien « feu de route + DRL ».

Le DRL s'allume dès que le véhicule est en capacité de rouler (contact mis et/ou moteur tournant). Cependant, il doit s'éteindre dès que les feux de croisement ou les feux de route sont allumés.

Dans le cas où un même module assure à la fois les fonctions de DRL et feu de position, l'intensité est réduite en configuration feu de position. Ainsi, le module « DRL feu de position » reste allumé, mais en intensité faible lorsque les feux de croisement ou de route sont allumés.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

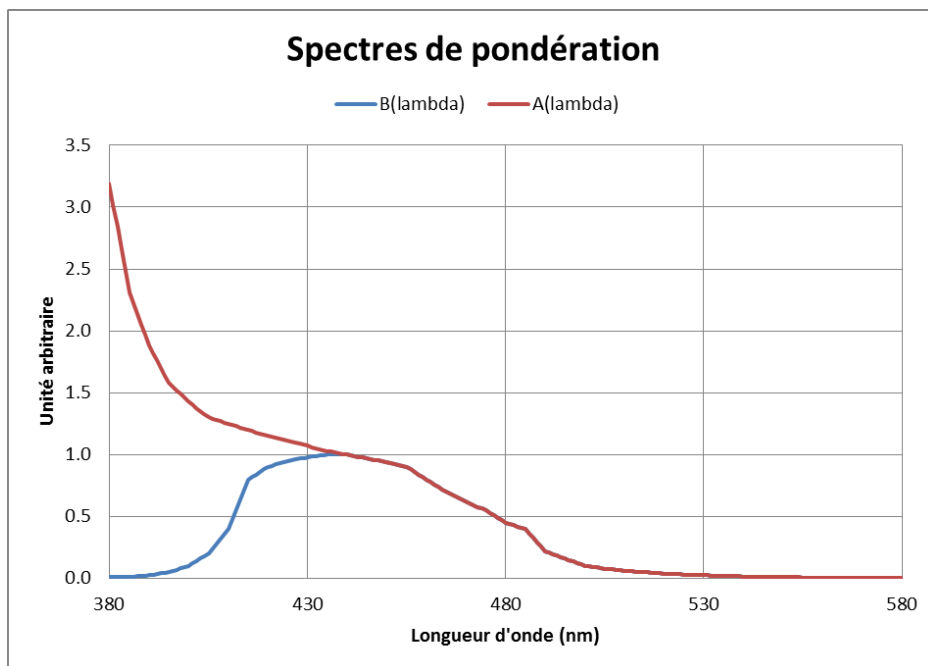
7.4. Spectre de sensibilité de l'œil au dommage photochimique de la lumière bleue

L'ICNIRP définit dans ses recommandations deux spectres décrivant la sensibilité de la rétine au risque photochimique de la lumière bleue. La courbe $B(\lambda)$ est définie pour la population générale (œil normal). Elle atteint un maximum vers 440 nm. La courbe $A(\lambda)$ correspond quant à elle à l'œil aphaque (sans cristallin) et à l'œil pseudophaque (cristallin artificiel). A l'inverse de la courbe $B(\lambda)$, cette courbe montre une sensibilité qui ne décroît pas en dessous de 440 nm et qui traduit une absence de filtrage des rayonnements de très courte longueur d'onde (le bleu très proche de l'ultraviolet et une partie des ultraviolets UV-A).

L'ICNIPR préconise d'utiliser la courbe $A(\lambda)$ pour les enfants de deux ans et moins car leur cristallin n'a pas acquis sa maturité en ce qui concerne les propriétés de filtrage des courtes longueurs d'onde.

Dans cette étude, on utilise donc le spectre $A(\lambda)$ pour les enfants de 2 ans et moins. Au-delà de cet âge, on utilise la courbe de sensibilité $B(\lambda)$.

Notons que la norme NF EN 62471, utilisée dans la Partie 1 de cette étude pour déterminer le groupe de risque photobiologique, ne fait pas appel à la courbe $A(\lambda)$ mais uniquement à la courbe $B(\lambda)$.



Spectres de sensibilité $A(\lambda)$ et $B(\lambda)$ du risque rétinien de la lumière bleue de l'ICNIRP

7.5. Valeur limite d'exposition ICNIRP

La valeur limite d'exposition (VLE) au risque rétinien de la lumière bleue définie par l'ICNIRP est basée sur la dose de luminance pondérée D_B :

$$VLE : D_{B \text{ limite}} = 10^6 \text{ J/m}^2/\text{sr}, \text{ pour une durée d'exposition continue et inférieure à } 10\,000 \text{ s}$$

Cette dose correspond au produit $L_B \times t$, où L_B désigne la luminance pondérée et t désigne la durée d'exposition. Il est important de remarquer que la luminance pondérée L_B dépend elle-même de la durée d'exposition. En effet, celle-ci est évaluée dans un champ de vision angulaire qui augmente avec la durée d'exposition, de manière à prendre en compte l'étalement de l'image rétinienne de la source provoquée par les micro-saccades oculaires. Il faut donc procéder à plusieurs mesures de L_B dans des angles de mesure différents pour déterminer la courbe de variation de la luminance L_B en fonction de la durée d'exposition. La durée limite d'exposition t_{limite} est déterminée

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

numériquement en calculant le point d'intersection de la courbe $L_B(t)$ et la courbe correspondant à la VLE : $(L_B)_{limite} = 10^6 / t$.

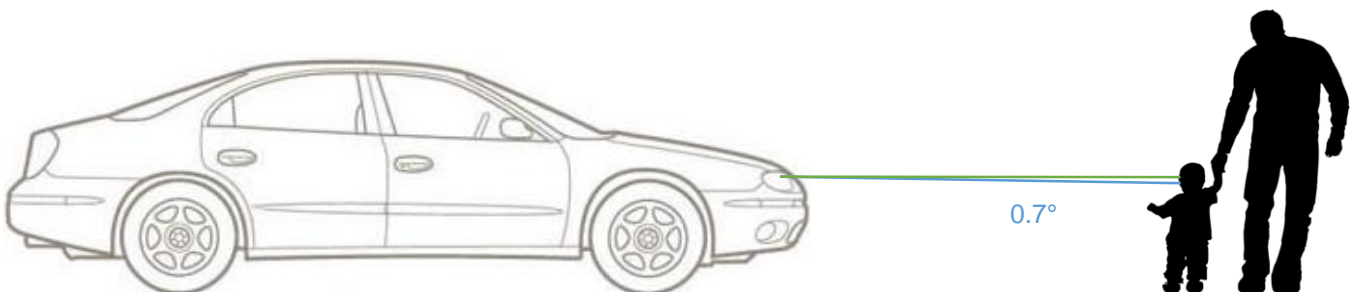
Comme il est expliqué dans le chapitre précédent, on rappelle que lorsque l'âge de l'observateur est inférieur ou égal à deux ans, la pondération utilisée dans l'évaluation de la luminance pondérée n'est pas la fonction $B(\lambda)$ mais la fonction $A(\lambda)$.

7.6. Les différents scénarios d'observation du véhicule**7.6.1. Les différentes inclinaisons du véhicule**

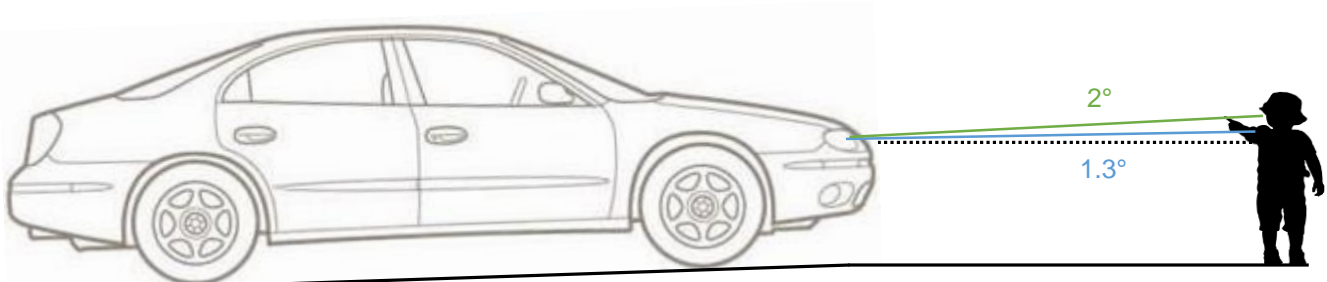
On a retenu quatre cas d'observation : un cas normal et trois un cas produisant un éclairage dirigé vers le haut. L'inclinaison vers le haut peut être due à l'environnement (route en montée, dos d'âne) ou à une hypothèse de mauvaise utilisation du véhicule (surcharge arrière, pas de correction d'assiette de l'éclairage du véhicule).

Dans tous les cas étudiés dans ce rapport, le véhicule et l'observateur sont considérés comme étant tous les deux immobiles. En effet, la prise en compte d'un véhicule s'approchant de l'observateur nécessiterait une modélisation plus complexe que les ressources allouées à l'étude n'ont pas permis d'aborder.

Sur les schémas suivants, on trouve en vert l'axe du feu de route et tout ce qui a attiré au DRL. En bleu, il s'agit de l'axe du feu de croisement. L'axe en pointillé noir représente l'axe horizontal et permet d'obtenir l'angle du feu étudié. Le trait plein noir représente la chaussée.

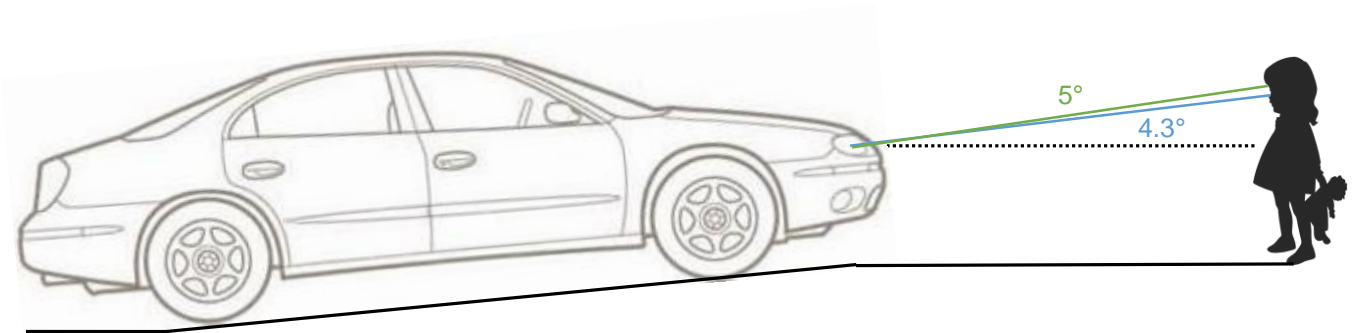


Cas a : véhicule sur une route horizontale avec un éclairage bien réglé

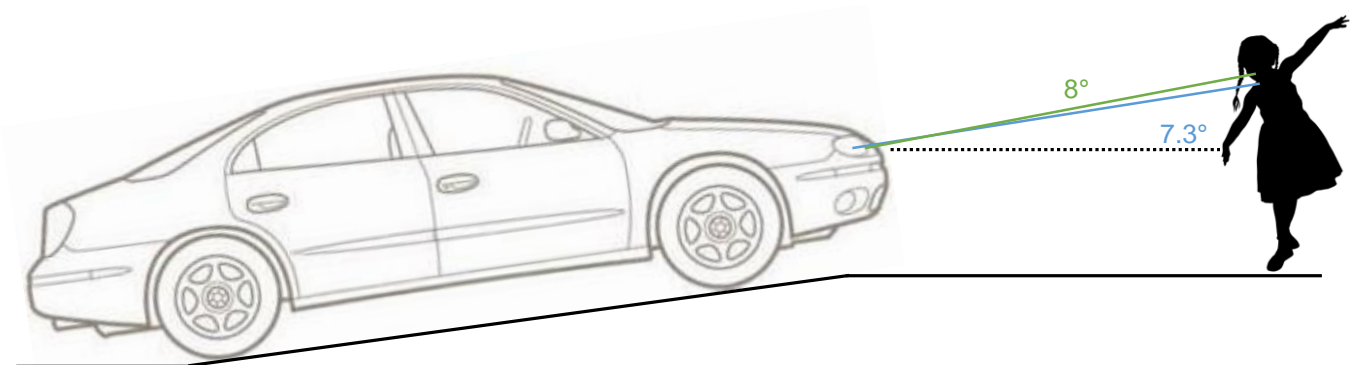


**Cas b : éclairage décalé de 2° vers le haut
Véhicule situé sur une route en montée inclinée de 2° (pente de 3.5%)**

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



**Cas c : éclairage décalé de 5° vers le haut
Véhicule situé sur une pente de 5° (pente de 8.7%)**



**Cas d : éclairage décalé de 8° vers le haut
Véhicule situé sur une pente de 8° (pente de 14%)**

Les pentes peuvent également correspondre à un dos d'âne, un cassis ou un trottoir.

7.6.2. Les différentes distances d'observation

Les distances auxquelles les durées limites d'exposition sont évaluées vont de 20 cm à 30 m.

7.6.3. Présentation des résultats

Pour chaque projecteur, les durées limites d'exposition ont été calculées dans toutes les configurations suivantes :

- feu de route, feu de croisement, DRL
- quatre cas d'inclinaison
- toutes les distances de 20 cm à 30 m par pas variable
- âge de l'observateur correspondant à la hauteur des yeux correspondant à la direction du maximum d'intensité du feu considéré

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

En raison du grand nombre de calculs effectués, nous avons construit pour chaque projecteur un tableau croisé dynamique qui donne la liste des configurations les plus critiques, par ordre de durée limite d'exposition croissante. La configuration la plus critique correspond à la durée limite d'exposition la plus courte.

7.7. Résultats sur le projecteur 1 : Citroën DS3

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de croisement, le projecteur a son optique principale xénon en position croisement, les 3 optiques LED actives en mode position ainsi que le 'C' esthétique en mode position.

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de route, le projecteur a son optique principale xénon en position route, les 3 optiques LED actives en mode route ainsi que le 'C' esthétique en mode position.

Dans le fonctionnement DRL, seul celui-ci est en cours de fonctionnement.

Dans les cas route et croisement, on utilise le spectre de la lampe au xénon pour le traitement et la détermination de la limite du temps d'exposition car les autres sources ont des luminances négligeables.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile
Projecteur Citroën DS3

VLE (s)	Technologie	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
14.1	xénon + LED	a	route	0.2	2
15.2	xénon + LED	a	route	0.5	2
17.3	xénon + LED	a	route	1	2
20.9	xénon + LED	b ; c ; d	route	0.2	3
22.6	xénon + LED	b ; c ; d	route	0.5	3
26.1	xénon + LED	b ; c ; d	route	1	3 ; 3 ; 4
26.2	xénon + LED	a	route	2	2
36	xénon + LED	a	route	3	2
40.9	xénon	a	croisement	0.2	2
41	xénon + LED	b ; c ; d	route	2	3 ; 5 ; 7
43.8	xénon + LED	a	route	4	2
49.9	xénon	a	croisement	0.5	2
52.2	xénon + LED	a	route	5	2
57.6	xénon + LED	b ; c ; d	route	3	4 ; 6 ; 9
60.5	xénon	b ; c ; d	croisement	0.2	3
65.4	xénon + LED	a	route	6	2
70.9	xénon + LED	b ; c ; d	route	4	4 ; 8 ; 12
73.9	xénon	a	croisement	1	2
75	xénon	b ; c ; d	croisement	0.5	3
85.4	xénon + LED	b ; c ; d	route	5	5 ; 10 ; 14
86.1	xénon + LED	a	route	7	2
90.4	xénon	a	croisement	2	2
121.7	xénon	b ; c ; d	croisement	1	3 ; 3 ; 4
217.5	xénon	a	croisement	3	2
238	xénon	b ; c ; d	croisement	2	3 ; 4 ; 6
463.9	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.2	1 (position debout assistée)
682.7	xénon + LED	b ; c ; d	route	6	6 ; 12 ; 18 (adulte)
1181.3	xénon	b ; c ; d	croisement	3	3 ; 6 ; 8
1200.9	xénon	a	croisement	4	2
2896.6	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.5	1 (position debout assistée)

Le feu de position n'apparaît pas dans le tableau car l'exposition qu'il induit ne dépasse jamais la valeur limite d'exposition (VLE).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.8. Résultats sur le projecteur 2 : Peugeot 208

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de croisement, le projecteur a son module 2 de type halogène ainsi que le feu de position en LED en fonctionnement.

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de route, le projecteur a son module 1 de type halogène, son module 2 de type halogène ainsi que le feu de position en LED en fonctionnement.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode position ou DRL, le module 3 de type LED fonctionne seul, respectivement en mode faible puissance et forte puissance.

Dans les cas croisement et route, on utilise le spectre halogène. Dans le cas position et DRL, on utilise le spectre de la LED. A noter que même si les LED sont en fonctionnement, dans le cas code et route, la luminance est négligeable par rapport à celles des feux de croisement et de route.

Peugeot 208

VLE (s)	Technologie	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
101.6	halogène	a ; b ; c ; d	croisement	0.2	2
104.2	halogène	a ; b ; c ; d	route	0.2	2
106.2	halogène	a ; b ; c ; d	croisement	0.5	2
116.5	halogène	a ; b	route	0.5	2
138.9	halogène	a ; b ; c	croisement	1	1 (debout assisté) ; 2 ; 2
140.1	halogène	c ; d	route	0.5	3
158.1	halogène	a	route	1	2
183.4	halogène	d	croisement	1	3
192.6	halogène	b ; c ; d	route	1	3 ; 3 ; 4
225.6	halogène	a	route	2	2
309.2	halogène	b ; c ; d	route	2	3 ; 4 ; 6
309.6	halogène	a ; b	croisement	2	1 (debout assisté) ; 2
494.8	halogène	a	route	3	2
507.7	halogène	c ; d	croisement	2	3 ; 5
774.5	halogène	b ; c ; d	route	3	3 ; 6 ; 9
1708.9	halogène	a ; b	croisement	3	1 (debout assisté) ; 2
1791.1	halogène	a	route	4	2
2128.6	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.2	3
3239.3	halogène	b ; c ; d	route	4	4 ; 7 ; 12
3851.1	halogène	c ; d	croisement	3	4 ; 7
5002.2	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.5	3 ; 3 ; 4 ; 4

Le feu de position n'apparaît pas dans le tableau car l'exposition qu'il induit ne dépasse jamais la valeur limite d'exposition (VLE).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.9. Résultats sur le projecteur 3 : Peugeot 3008

Une particularité est à noter concernant ce projecteur. Deux modules ('kink' et 'flat') sont utilisés en feu de croisement et en feu de route. En mode route, ils sont conçus de sorte à ce que les deux faisceaux convergent à une distance de 25 m.

La mesure dans cette configuration à 25 m n'a pas pu être réalisée car les laboratoires du CSTB ne permettent pas de disposer de la longueur suffisante.

Les cas les plus critiques listés dans le tableau ci-dessous correspondent à des courtes distances, inférieures ou égales à 5 m, pour lesquelles les faisceaux respectifs des deux modules sont bien séparés. Il n'a pas été possible d'examiner l'exposition à une distance de l'ordre de 25 m pour laquelle il y a superposition des faisceaux respectifs des deux modules, ce qui produit une luminance environ deux fois plus élevée que les luminances respectives des deux modules.

VLE (s)	Technologie	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
20.8	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	0.2	3 ; 3 ; 3 ; 3
21.4	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	0.2	4 ; 4 ; 4 ; 4
21.8	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	0.5	3 ; 3 ; 4 ; 4
22.6	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	0.5	4 ; 4 ; 5 ; 5
23.1	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	1.0	3 ; 4 ; 4 ; 5
23.2	LED	a ; b ; c ; d	route sup.	0.2	4 ; 4 ; 4 ;
23.9	LED	a ; b ; c ; d	route sup.	0.5	4 ; 4 ; 5 ; 5
25.8	LED	a ; b ; c ; d	route sup.	1.0	4 ; 5 ; 5 ; 6
26.3	LED	a ; b ; c ; d	croisement inf.	0.2	3 ; 3 ; 3 ; 3
29.7	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	1.0	4 ; 4 ; 5 ; 6
29.8	LED	a ; b ; c ; d	croisement inf.	0.5	3 ; 3 ; 4 ;
30.1	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	2.0	3 ; 4 ; 6 ; 8
40.1	LED	a ; b ; c ; d	croisement inf.	1.0	3 ; 3 ; 4 ; 5
41.2	LED	a ; b ; c ; d	route sup.	2.0	4 ; 5 ; 7 ; 9
42.9	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	3.0	3 ; 5 ; 7 ; 11
50.3	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	2.0	3 ; 5 ; 6 ; 8
50.6	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	3.0	3 ; 5 ; 8 ; 11
54.3	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	4.0	3 ; 5 ; 9 ; 13
72.5	LED	a ; b ; c ; d	route inf.	5.0	3 ; 6 ; 11 ; 16
83.4	LED	a ; b ; c ; d	croisement inf.	2.0	3 ; 4 ; 6 ; 7
85.7	LED	a ; b ; c ; d	route sup.	3.0	4 ; 6 ; 8 ; 12
95.7	LED	a ; b ; c ; d	croisement sup.	4.0	3 ; 5 ; 9 ; 13
8025.3	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.2	4 ; 4 ; 4 ; 5

Le feu de position n'apparaît pas dans le tableau car l'exposition qu'il induit ne dépasse jamais la valeur limite d'exposition (VLE).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.10. Résultats sur le projecteur 4 : Renault Espace

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de croisement, le projecteur a son module 2 de type LED ainsi que le feu de position en LED en fonctionnement.

Dans le cas d'un fonctionnement en feu de route, le projecteur a son module 1 de type LED, son module 2 de type LED ainsi que le feu de position en LED en fonctionnement.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode position ou DRL, le module 3 de type LED fonctionne seul, respectivement en mode faible puissance et forte puissance.

Dans les cas code, on utilise le spectre du feu code. Lorsque l'on est en mode route, on utilise le spectre LED du feu correspondant. Dans le cas position et DRL, on utilise le spectre de la LED du DRL. A noter que même si le feu de position est en fonctionnement, dans le cas code et route, l'intensité lumineuse n'est pas prédominante sur les feux de croisement et de route.

Il n'y a pas de données sur le DRL car sans risque, mais on est tout de même en limite de groupe de risque. Le feu de position n'est pas affiché non plus car sans risque.

Renault Espace

VLE (s)	Technologie	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
18.8	LED	a ; b ; c ; d	route	0.2	4 ; 4 ; 4 ; 4
19.8	LED	a ; b ; c ; d	route	0.5	4 ; 4 ; 5 ; 5
21.3	LED	a ; b ; c ; d	route	1	4 ; 5 ; 6 ; 6
27.2	LED	a ; b ; c ; d	route	2	4 ; 5 ; 7 ; 9
36.4	LED	a ; b ; c ; d	route	3	4 ; 6 ; 8 ; 12
47	LED	a ; b ; c ; d	croisement	0.2	4 ; 4 ; 4 ; 4
49.3	LED	a ; b ; c ; d	croisement	0.5	4 ; 4 ; 4 ; 5
51.7	LED	a ; b ; c ; d	route	4	4 ; 6 ; 10 ; 14
63.3	LED	a ; b ; c ; d	croisement	1	4 ; 4 ; 5 ; 6
72.2	LED	a ; b ; c ; d	route	5	4 ; 7 ; 12 ; 17
85.9	LED	a ; b ; c ; d	route	6	4 ; 8 ; 13 ; 18 (adulte)
87.3	LED	a ; b ; c ; d	croisement	2	3 ; 5 ; 6 ; 8
843.4	LED	a ; b ; c ; d	croisement	3	3 ; 5 ; 8 ; 11

Le feu de position et le feu DRL n'apparaissent pas dans le tableau car l'exposition qu'ils induisent ne dépasse jamais la valeur limite d'exposition (VLE).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.11. Résultats sur le projecteur 5 : DRL de la Toyota Auris

Toyota AURIS (DRL seulement, type LED)

VLE (s)	Technologie	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
1207	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.2	2 ; 2 ; 2 ; 2
2906	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.5	2 ; 2 ; 2 ; 2
4010	LED	a ; b	DRL	1	2 ; 2
4261	LED	c ; d	DRL	1	3 ; 3
4355	LED	a ; b	DRL	2	2 ; 2
4563	LED	c ; d	DRL	2	4 ; 5
4886	LED	a	DRL	3	2
5114	LED	b ; c ; d	DRL	3	3 ; 5 ; 8
5192	LED	a	DRL	4	2
5402	LED	a	DRL	5	2
5424	LED	b ; c ; d	DRL	4	3 ; 7 ; 11
5649	LED	b ; c ; d	DRL	5	4 ; 8 ; 13
5759	LED	a	DRL	6	2
6026	LED	b ; c ; d	DRL	6	4 ; 10 ; 16
6233	LED	a	DRL	7	2
6527	LED	b ; c ; d	DRL	7	5 ; 12 ; adulte
6668	LED	a	DRL	8	2
6987	LED	b ; c ; d	DRL	8	5 ; 13 ; 18 (adulte)
7250	LED	a	DRL	9	2
7543	LED	a	DRL	10	2
7602	LED	b ; c ; d	DRL	9	6 ; 15 ; 18 (adulte)
7912	LED	b ; c	DRL	10	7 ; 6
9585	LED	a	DRL	12	2

Le feu de position n'apparaît pas dans le tableau car l'exposition qu'il induit ne dépasse jamais la valeur limite d'exposition (VLE).

Les feux de croisement et de route de la Toyota Auris n'ont pas été testés dans cette étude.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.12. Résultats sur le projecteur 6 : DRL de la Peugeot 508 SW

Peugeot 508 SW (DRL seulement, type LED)

VLE (s)	Techno	Cas	Feu	Distance (m)	Age (an)
2835	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.2	1 ; 1 ; 1 ; 1 (position debout assistée)
3523	LED	a ; b ; c ; d	DRL	0.5	1 ; 1 ; 1 ; 1 (position debout assistée)
4508	LED	a ; b ; c ; d	DRL	1	1 ; 1 ; 1 ; 1 (position debout assistée)
4112	LED	a ; b ; c ; d	DRL	2.0	1 (id) ; 1 (id) ; 1 (id) ; 2
4383	LED	a ; b ; c	DRL	3	1 ; 1 ; 1 (position debout assistée)
4891	LED	a ; b ; c	DRL	4.0	1 (id) ; 1 (id) ; 1 (id) ; 2
6341	LED	a ; b	DRL	5.0	1 ; 1 (position debout assistée)
6545	LED	c ; d	DRL	5.0	3 ; 7
7713	LED	a ; b	DRL	6.0	1 ; 1 (position debout assistée)
8996	LED	a ; b	DRL	7.0	1 ; 1 (position debout assistée)
7971	LED	c ; d	DRL	6	4 ; 10
9306	LED	c ; d	DRL	7	6 ; 12
4513	LED	d	DRL	3	3
5039	LED	d	DRL	4	5

Les feux de position, de croisement et de route de la Peugeot 508 SW n'ont pas été testés dans cette étude.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.13. Résultats sur le projecteur 7 : DRL de la Peugeot 508 RXH

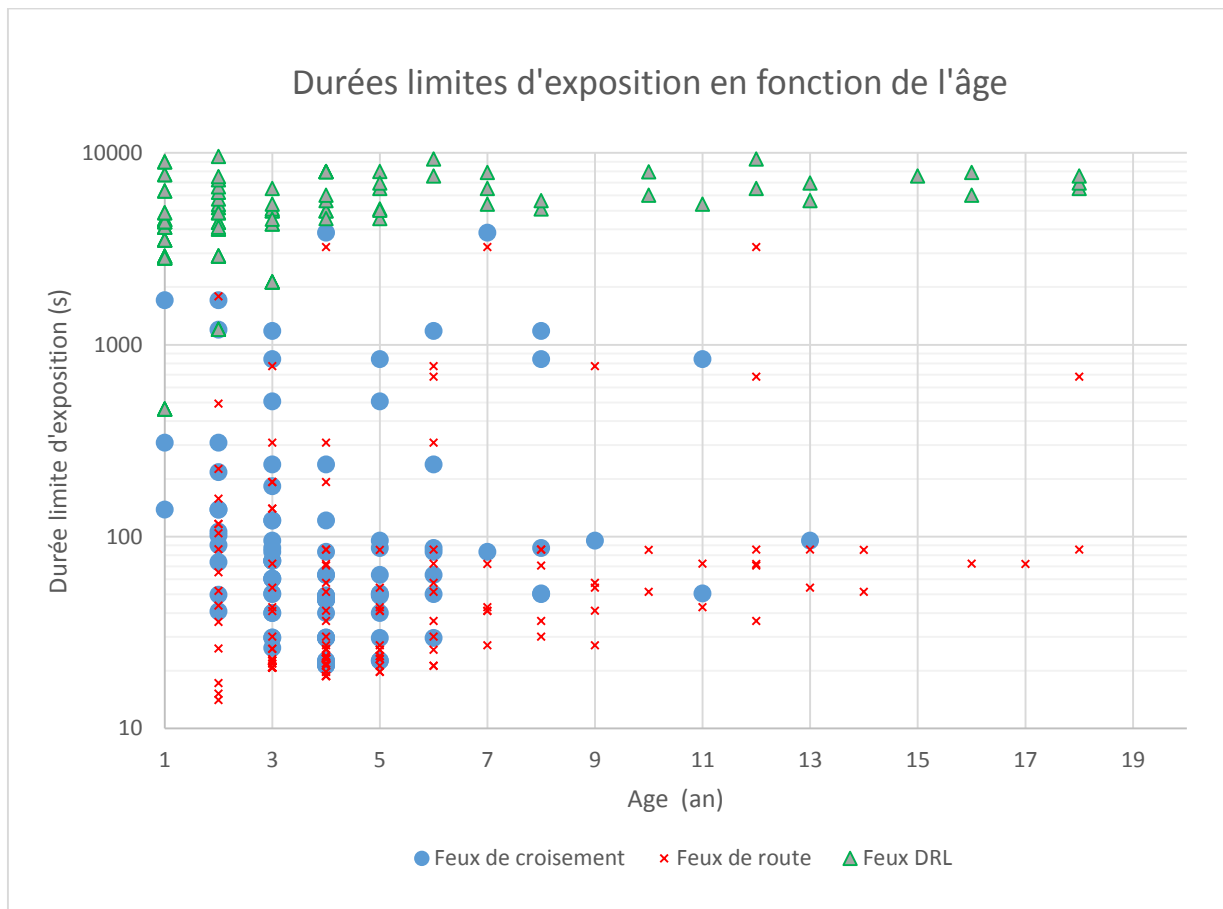
Les feux de position, de croisement et de route de la Peugeot 508 RXH n'ont pas été testés dans cette étude.

L'exposition au feu DRL de la Peugeot 508 RXH n'induit jamais de dépassement de la valeur limite d'exposition (VLE).

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

7.14. Analyse des résultats selon l'âge

Le graphe ci-dessous rassemble l'ensemble des durées limites d'exposition obtenues pour les feux de route, les feux de croisement et les DRL en fonction de l'âge des observateurs ayant les yeux dans le maximum d'intensité du faisceau considérée, pour des distances allant de 0.2 m à plus de 10 m.



On constate que dans toutes les configurations étudiées (différents types de projecteur, différentes distances, différentes inclinaisons, différents âges), ce sont toujours les très jeunes enfants qui subissent l'exposition la plus critique (durées limites d'exposition les plus faibles correspondant aux luminances les plus élevées). En effet, la hauteur des yeux des jeunes enfants est proche de la hauteur des feux automobiles. Lorsque le véhicule éclaire normalement (à plat ou avec une faible inclinaison), les yeux sont exposés au maximum de luminance des feux à des distances assez courtes (de 20 cm et quelques mètres).

On constate logiquement que l'exposition aux feux de route est la plus critique : les durées limites d'exposition augmentent à peu près linéairement de 14 s pour un enfant de 2 ans (distance 0.2 m) à 86 s pour un adulte (distance supérieure ou égale à 6 m).

Dans le cas des feux de croisement, les durées limites d'exposition les plus courtes sont comprises entre 19 s pour un observateur de 4 ans (distance comprise entre 4 et 5 m) pour un observateur de 13 ans (distance de 4 m).

Dans le cas des DRL, la durée limite d'exposition la plus courte est de 463 s pour un enfant de 1 an exposé au maximum du faisceau à la distance de 0.2 m. Il s'agit dans ce cas d'un feu DRL utilisant des LED directement

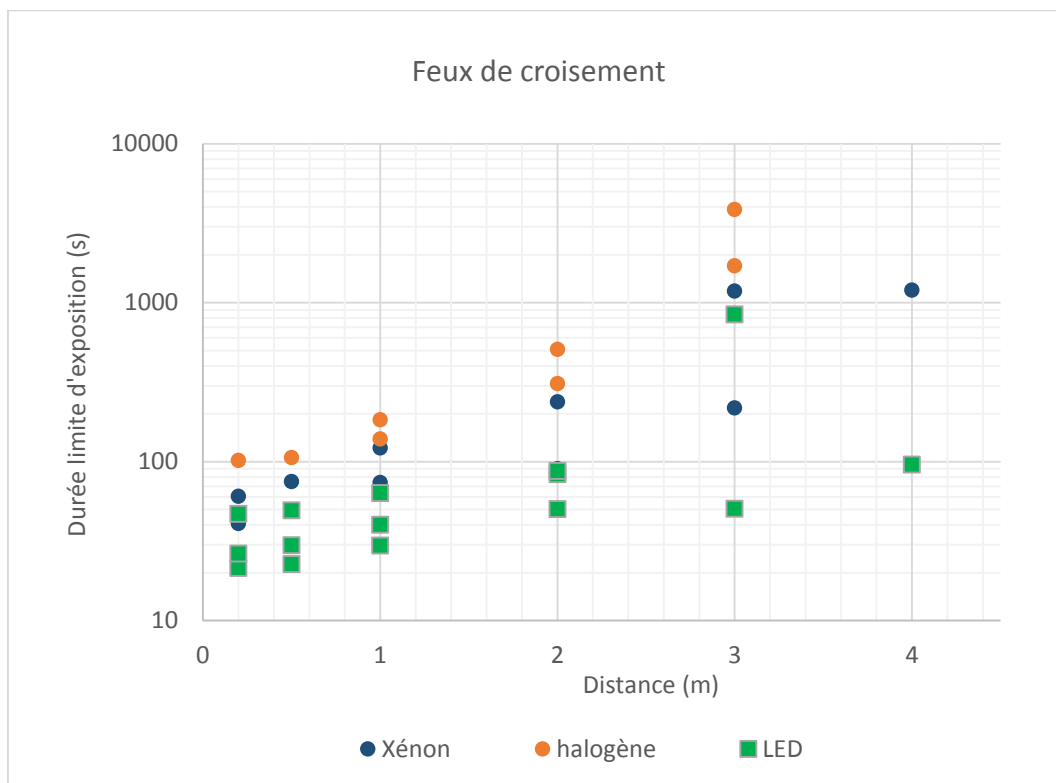
CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

visibles par l'observateur. Les DRL de conception plus récente, utilisant des LED associées à des guides de lumière, conduisent à des expositions moins critiques. Les durées limites d'exposition les plus couramment obtenues sont toujours supérieures à 1000 s.

7.15. Analyse des résultats selon la technologie

7.15.1. Comparaison des technologies de feux de croisement

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de croisement testés et pour tous les âges d'observateurs.



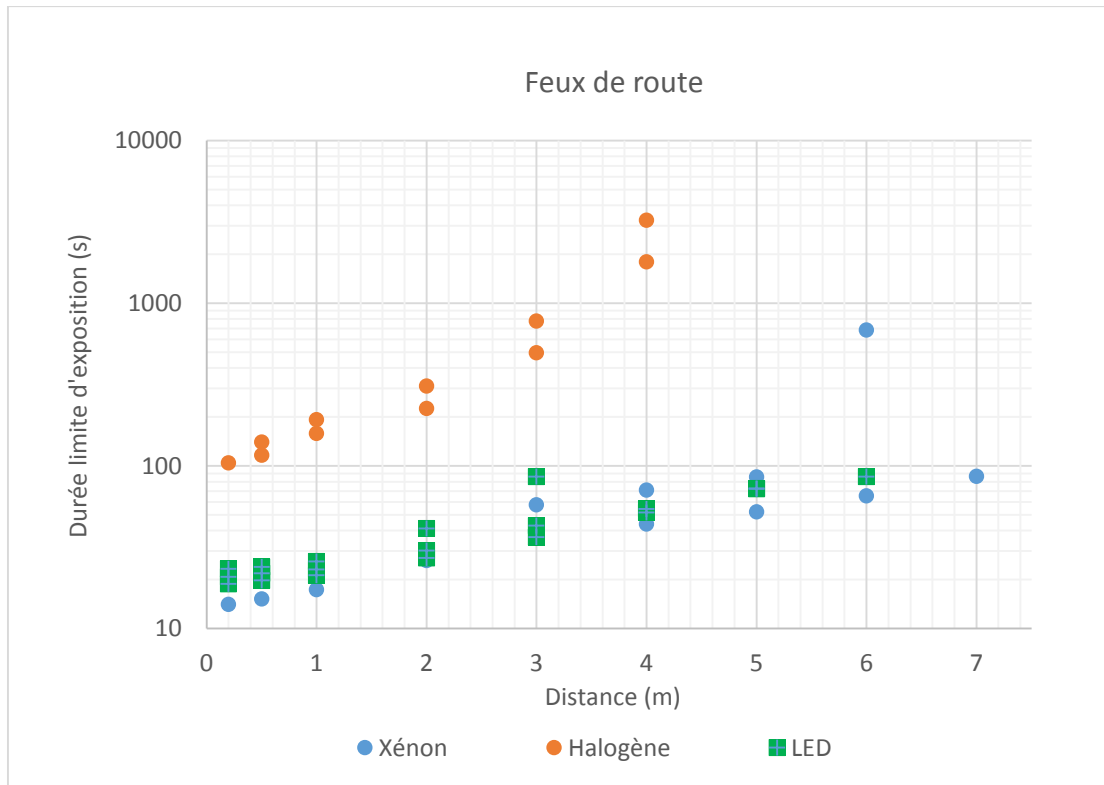
Les durées limites d'exposition pour la technologie halogène n'est jamais inférieure à 100 s, tandis qu'elle peut être de l'ordre de 40 s pour les technologies xénon et LED.

Les résultats montrent que les feux de croisement LED produisent des situations d'exposition plus critiques que les feux de croisement xénon, qui eux-mêmes produisent des situations d'expositions plus critiques que les feux de croisement halogène.

7.15.2. Comparaison des technologies de feux de route

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de route testés et pour tous les âges d'observateurs.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Pour les feux de route, les technologies LED et xénon donnent des durées limites d'exposition assez similaires.

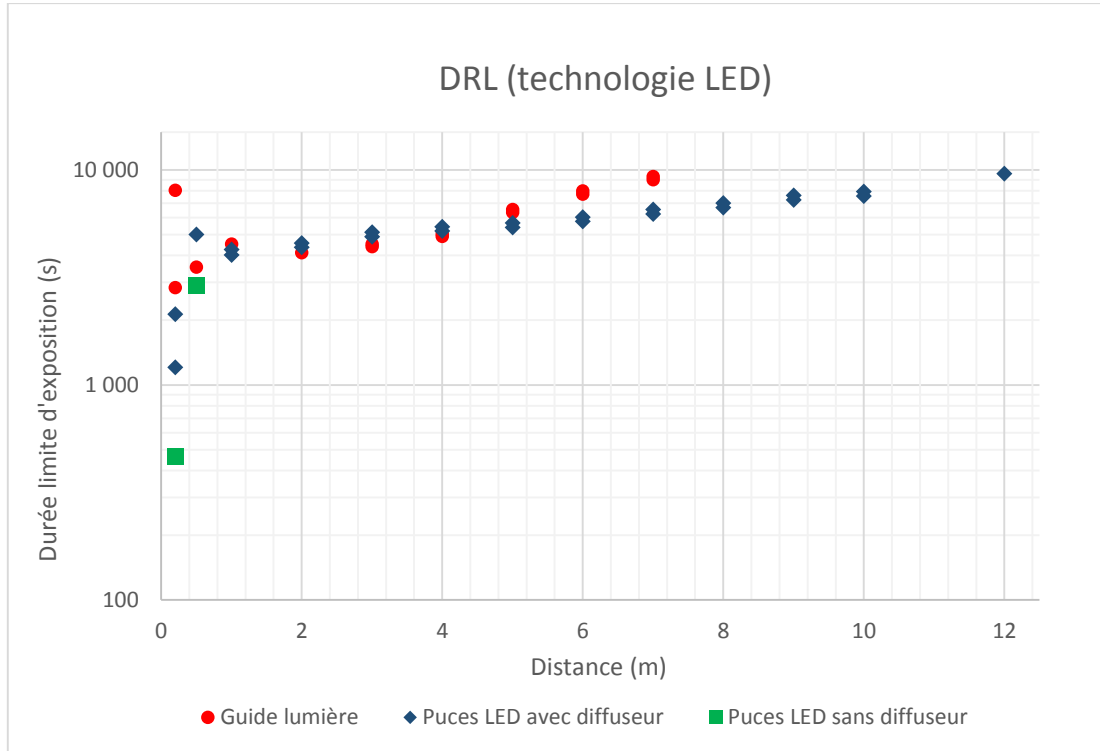
Les feux de route halogène sont associés à des durées limites d'exposition ne descendant pas en dessous de 100s.

Les feux de route LED et xénon sont associés à des durées limites d'exposition comprises en 14 s et 20 s à très courte distance (0.2 m).

7.15.3. Comparaison des feux DRL

Le graphe suivant rassemble l'ensemble des valeurs obtenues de durées limite d'exposition en fonction de la distance d'observation, pour tous les feux de croisement testés et pour tous les âges d'observateurs.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Ce graphe ne fait pas apparaître les feux DRL qui ne sont pas associés à une durée limite d'exposition (pas de dépassement de la VLE) :

- feu DRL à puces LED visibles sans diffuseur de la Peugeot 508 RXH
- feu DRL à guide de lumière de la Renault Espace

On constate que les durées limites d'exposition les plus longues (exposition les moins critiques) correspondent aux DRL fonctionnant sur le principe d'un guide de lumière dont les puces LED sont invisibles.

Pour les cinq feux DRL associés à un dépassement de la VLE, les durées limites d'exposition varient entre 463 s et 10 000 s pour des distances allant de 0.2 m à 12 m

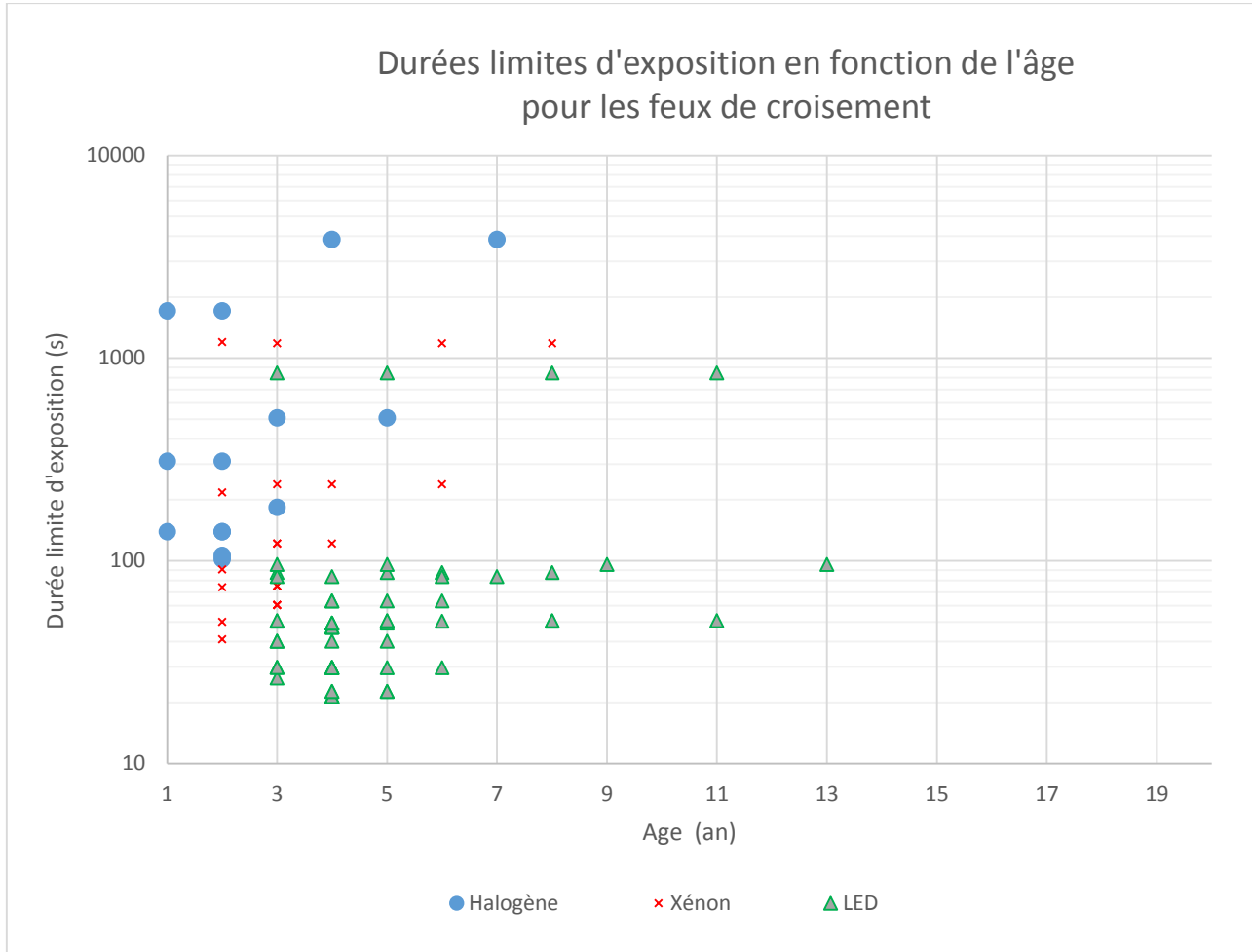
La durée d'exposition la plus courte (exposition la plus critique) correspond à un feu DRL dont les puces LED sont visibles directement par l'observateur. Cette exposition la plus critique correspond à un enfant de 1 an exposé à ce feu DRL à la distance à 0.2 m. Dans ce cas, la durée limite d'exposition est de 463 s (entre 7 et 8 minutes).

7.16. Analyse des résultats selon l'âge et la technologie

7.16.1. Feux de croisement

Le graphe ci-dessous représente les mesures obtenues pour les feux de croisement, en fonction de l'âge et en différenciant les 3 technologies d'éclairage.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile

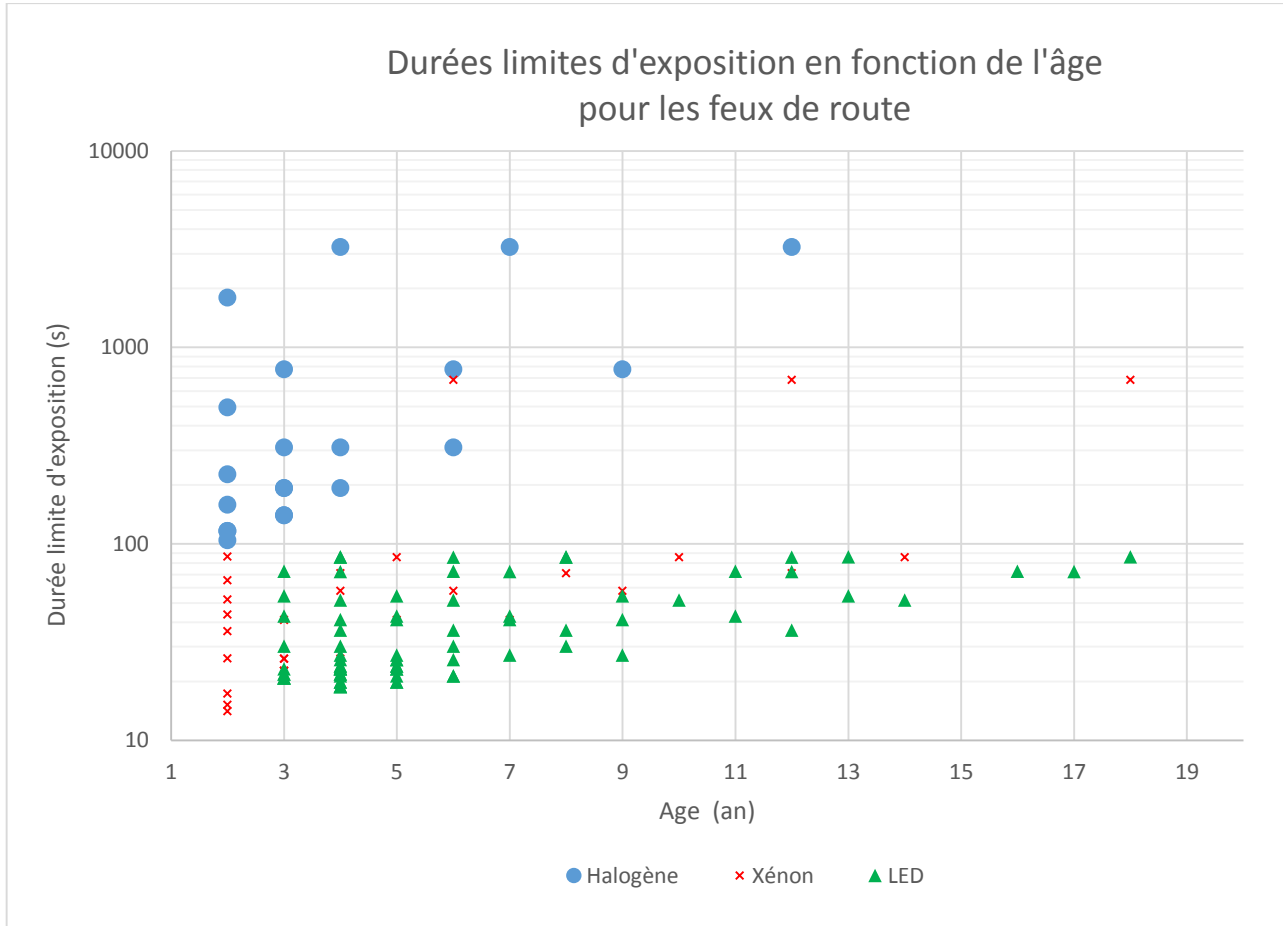


Ce graphe indique que les feux de croisement à LED conduisent à des expositions plus critiques (durées limites d'exposition plus courtes) chez les enfants, par rapport aux technologies xénon et halogène. La durée d'exposition la plus courte (22 s) est observée pour un enfant de 4 ans exposé à un feu de croisement à LED à 0.2 m.

7.16.1. Feux de route

Le graphe ci-dessous représente les mesures obtenues pour les feux de route, en fonction de l'âge et en différenciant les 3 technologies d'éclairage.

CRD Anses / CSTB n°2016-CRD-15 Avenant du 7/7/2017 – Eclairage automobile



Bien que la situation d'exposition la plus critique soit produite par un feu de route au xénon et un enfant de 2 ans, on constate que pour les observateurs âgés de 3 ans et plus, les feux de route à LED conduisent à des expositions plus critiques que celles produites par les feux de route au xénon et les feux de route halogènes.

Fin de rapport